



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA

FERNANDA DE PAULA SILVA

**SISTEMA COMPUTACIONAL INTERATIVO PARA TRATAMENTO DE
ESTRESSE POR MEIO DE AQUISIÇÃO DE SINAIS BIOLÓGICOS**

UBERLÂNDIA
2018

FERNANDA DE PAULA SILVA

**SISTEMA COMPUTACIONAL INTERATIVO PARA TRATAMENTO DE
ESTRESSE POR MEIO DE AQUISIÇÃO DE SINAIS BIOLÓGICOS**

Dissertação de mestrado apresentada ao
Programa de Pós-graduação em
Engenharia Biomédica da Faculdade de
Engenharia Elétrica, Universidade Federal
de Uberlândia, como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Engenharia de
Sistemas de Saúde.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Alves Pereira

Coorientador: Prof. Dr. Alan Petrônio
Pinheiro

UBERLÂNDIA
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

S586s Silva, Fernanda de Paula, 1992-
2018 Sistema computacional interativo para tratamento de estresse por
meio de aquisição de sinais biológicos / Fernanda de Paula Silva. - 2018.
118 f. : il.

Orientador: Adriano Alves Pereira.
Coorientador: Alan Petrônio Pinheiro.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.1160>
Inclui bibliografia.

1. Engenharia biomédica - Teses. 2. Terapia cognitiva - Teses. 3.
Sistemas de controle biológico - Teses. 4. Processamento de sinais -
Teses. I. Pereira, Adriano Alves. II. Pinheiro, Alan Petrônio. III.
Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Biomédica. IV. Título.

CDU: 62:61

Maria Salete de Freitas Pinheiro – CRB6/1262

*“Suba o primeiro degrau com fé.
Não é necessário que você veja toda a escada.
Apenas dê o primeiro passo.”*

Martin Luther King

Aos meus pais,

José Cândido e Regina Helena,

Por sempre me incentivarem a seguir em frente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser fonte de toda a minha força de vontade, perseverança e por me permitir chegar até aqui. Não há maior recompensa na vida que atingir qualquer meta pelo nosso esforço.

Agradeço imensamente à toda minha família e meus amigos pela força, incentivo e compreensão, em especial aos meus pais, José Cândido e Regina Helena, pelo apoio incondicional.

Ao Laurindo Tchinhamama, por toda a dedicação e compreensão e por estar ao meu lado, e nunca me deixar desanimar. A Stephane Andrea, que apesar da distância sempre se manteve perto para me incentivar. Ao Ricardo Mendonça pela amizade sincera e auxílio constante. A Valéria Silva, companheira das peripécias de Mestrado.

Ao corpo docente do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), base da minha formação acadêmica, o meu mais sincero agradecimento. Em especial ao Prof. Dr. Nelio Alves e Prof. Msc. Wilton Filho por sempre acreditarem no meu potencial.

O meu muito obrigada ao coordenador Prof. Dr. Edgard Afonso Lamounier Jr e a todo o corpo docente da Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia, que sempre me motivaram e me estimularam a me aprofundar no conhecimento de uma área completamente nova para mim.

Em especial ao meu orientador Prof. Dr. Adriano Alves, por todo o tempo dedicado para me auxiliar e me ouvir, por acreditar em minhas ideias e me dar liberdade para desenvolvê-las.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Alan Petrônio, por sempre estar disposto a me ajudar e por todas as horas de dedicação e disposição na construção deste trabalho.

Agradeço ao Prof. Dr. Ederaldo Lopes, suas observações e sugestões referente a área da psicologia foram de grande valia e fazem parte desta dissertação.

Aos colegas do Núcleo de Inovação e Avaliação Tecnológica em Saúde (NIATS), pois sem a cooperação de vocês a realização deste trabalho não teria sido possível, em especial aos que de alguma forma fizeram parte do desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Gustavo Moreira pelo auxílio no uso do equipamento e pelos sábios conselhos, ao Matheus Coelho pela parceria e apoio nas produções científicas e em especial a Dr. Iraídes Oliveira, pelos ensinamentos e orientações para as coletas.

Aos voluntários, parte fundamental na conclusão deste trabalho, a minha sincera gratidão, obrigada pelo tempo que vocês cederam para participar dos testes e validações.

Agradeço a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) pela oportunidade de participar do Projeto P&D GT462 e aos órgãos de fomento CAPES, FAPEMIG e CNPq.

Por fim, agradeço a todos que, embora não tenham sido citados neste agradecimento, fizeram parte da minha história em algum momento e me auxiliaram das mais diversas formas a realizar esse sonho e me tornar o que sou.

PESQUISA REALIZADA EM:



Universidade Federal
de Uberlândia

www.ufu.br



Programa de Pós-
graduação em
Engenharia Biomédica

www.ppgeb.feelt.ufu.br



Núcleo de Inovação e
Avaliação Tecnológica
em Saúde

www.niats.feelt.ufu.br



Companhia
Energética de Minas
Gerais

www.cemig.com.br



Agência Nacional de
Energia Elétrica

www.aneel.gov.br

RESUMO

SILVA, Fernanda de Paula. *Sistema computacional interativo para tratamento de estresse por meio de aquisição de sinais biológicos* - Uberlândia. 2018. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.1160>.

Sistemas de aquisição e processamento de sinais biológicos fornecem um meio não invasivo e não medicamentoso para a realização de intervenções psicofisiológicas. Por meio de um sinal respiratório, de temperatura da pele, de resposta galvânica da pele, eletromiográfico, eletroencefalográfico ou eletrocardiográfico capturado a fim de tratar patologias como estresse, falta de concentração, ansiedade, insônia, reforço e relaxamento muscular. Este trabalho apresenta uma proposta de sistema computacional capaz de processar diferentes sinais e interagir com o usuário por meio de ambientes virtuais que se modificam de acordo com a alteração do sinal e o estado do indivíduo avaliado. Para tal, o sistema desenvolvido associa-se com o equipamento para a aquisição desses sinais. Ao final desta dissertação foi feita uma avaliação experimental das funcionalidades para validá-lo e testes com voluntários que tiveram como objetivo demonstrar a eficácia do sistema. Os resultados mostram alguma eficiência no atendimento das demandas propostas e os voluntários relataram facilidade na compreensão das funcionalidades do mesmo, bem como na interação com os ambientes virtuais desenvolvidos para o propósito de *biofeedback*.

Palavras-chave: *biofeedback*, medicina comportamental, terapia cognitivo-comportamental, sistema terapêutico interativo.

ABSTRACT

Acquisition system and processing of biologics signal provide a way no invasive and no medicinal for realization of psychophysiology's interventions. By signal means respiratory, of skin temperature, of galvanic response of the skin, electromyographic, electrocardiographic or electroencephalographic captured to treat similar pathology like stress, lack of concentration, anxiety, insomnia, strengthening and muscle relaxation. This paper address to present a proposal of computational system able to collect different signals and interact with the user by virtual environment that modify according with signal alteration and the individual evaluated. For this, the developed system associate with the equipment system to detection of this signals. And the end of the dissertation was made experimental evaluation of the functionalities to validate it and tests with voluntaries that had the objective to demonstrate an efficacy of this system. The system showed any efficient in attendance of the demands proposed and the voluntaries related facility in comprehension the functionalities, as well as in interaction with the virtual environments developed for the purpose of biofeedback.

Keywords: biofeedback, medical behavioral, cognite therapy, cognitive behavioral therapy, interactive therapeutic system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Critérios para avaliação de qualidade.....	40
Figura 2 - EMG System 800C-832 de 8 canais.....	53
Figura 3 - Visual Studio 2017 – Ambiente de desenvolvimento.....	54
Figura 4 - MySQL Workbench 6.3.....	55
Figura 5 - Servidor XAMPP.....	56
Figura 6 - (a) Ambiente dia e noite: início de execução. (b) Ambiente dia e noite: fim de execução.....	56
Figura 7 - Aplicação do processo RUP no sistema desenvolvido.....	57
Figura 8 - Arquitetura do Sistema de <i>biofeedback</i>	65
Figura 9 - Interface de Conexão.....	67
Figura 10 - Interface Principal	68
Figura 11 - Interface de Cadastro de Pacientes.....	69
Figura 12 - Exemplo de consulta de cadastro de paciente.....	70
Figura 13 - Interface Iniciar Sessão.....	72
Figura 14 - Interface Informações do Terapeuta.....	73
Figura 15 - Interface Informações do Terapeuta: cálculo do limiar desejado.....	74
Figura 16 - Interface de cálculos do sinal.....	75
Figura 17 - Dia e noite: dentro do limiar estabelecido.....	77
Figura 18 - Dia e noite: atingindo o limiar estabelecido.....	78
Figura 19 - Dia e noite: afastando do limiar estabelecido.....	78
Figura 20 - Expressões: tristeza: afastando do limiar estabelecido.....	79
Figura 21 - Expressões: felicidade: atingindo o limiar estabelecido.....	80
Figura 22 - Expressões: euforia: dentro do limiar estabelecido.....	80

Figura 23 - Neblina: dentro do limiar estabelecido.	81
Figura 24 - Neblina: atingindo o limiar estabelecido.	82
Figura 25 - Neblina: afastando do limiar estabelecido.	82
Figura 26 - Quebra-cabeça: afastando do limiar estabelecido.	83
Figura 27 - Quebra-cabeça: atingindo o limiar estabelecido.	84
Figura 28 - Quebra-cabeça: dentro do limiar estabelecido.	84
Figura 29 - Interface de Relatórios - Aba: Dados do Paciente.	85
Figura 30 - Interface de Relatórios - Aba: Dados das sessões realizadas.	86
Figura 31 - Modelo de Relatório para impressão.	87
Figura 32 - Interface de Ajuda.	88
Figura 33 - Documentação do Sistema.	88
Figura 34 - Interface Sobre o sistema.	89
Figura 35 - Protocolo utilizado para sessão.	92
Figura 36 - Cálculo do limiar desejado.	94
Figura 37 - Sessão 1: Ambiente dia e noite.	95
Figura 38 - Sessão 1: (a) Voluntária aproximando-se do limiar; (b) Voluntária afastando-se do limiar.	96
Figura 39 - Sessão 1: Cálculos do sinal.	96
Figura 40 - Sessão 2: Ambiente expressões.	97
Figura 41 - Sessão 2: (a) Voluntário aproximando-se do limiar; (b) Voluntário afastando-se do limiar.	98
Figura 42 - Sessão 2: Cálculos do sinal.	98
Figura 43 - Sessão 3: Ambiente neblina.	99
Figura 44 - Sessão 3: (a) Voluntária aproximando-se do limiar; (b) Voluntária afastando-se do limiar.	100

Figura 45 - Sessão 3: Cálculos do sinal.	100
Figura 46 - Sessão 4: Ambiente quebra-cabeça.	101
Figura 47 - Sessão 4: (a) Voluntário aproximando-se do limiar; (b) Voluntário alcançando o limiar.	102
Figura 48 - Sessão 4: Cálculos do sinal.	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Taxas respiratórias normais.....	33
Tabela 2 - Variação da frequência cardíaca em cada faixa etária.....	35
Tabela 3 - Ritmos característicos no sinal EEG e estado de consciência.....	36
Tabela 4 - Estudos que utilizaram <i>biofeedback termal</i>	41
Tabela 5 - Estudos que utilizaram <i>biofeedback respiratório</i>	42
Tabela 6 - Estudos que utilizaram <i>biofeedback muscular (EMG)</i>	44
Tabela 7 - Estudos que utilizaram <i>biofeedback cardíaco (ECG)</i>	45
Tabela 8 - Estudos que utilizaram <i>biofeedback neural (EEG)</i>	47
Tabela 9 - Estudos que utilizaram <i>biofeedback eletrodérmico (GSR)</i>	49
Tabela 10 - Requisitos funcionais do sistema.....	60
Tabela 11 - Requisitos não funcionais do sistema.....	61
Tabela 12 - Resultados das sessões experimentais realizadas.....	104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

µV – Microvolts

3D – Três dimensões

A/T – Alfa/Teta

ABBIO – Associação Brasileira de Biofeedback

ADHD – Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade (Attention Deficit Disorder Association)

AVC – Acidente Vascular Cerebral

BD – Banco de Dados

BPM – Batimentos Cardíacos por Minuto

C# – C Sharp

CAAE – Certificado de Apresentação para Apreciação Ética

CLI – Infraestrutura de linguagem comum (Common Language Infrastructure)

CLR – Tempo de Execução de Linguagem Comum (Common Language Runtime)

CPF – Cadastro de Pessoa Física

DAQ – Aquisição de Dados (Data Acquisition)

DCL – Linguagem de Controle de Dados (Data Control Language)

DCU – Design Centrado no Usuário

DDL – Linguagem de Definição de Dados (Data Definition Language)

DML – Linguagem de Manipulação de Dados (Data Manipulation Language)

DQL – Linguagem de Consulta de Dados (Data Query Language)

ECG – Eletrocardiograma

EEG – Eletroencefalografia

EMG – Eletromiografia

EUA – Estados Unidos da América

FC – Fibrose Cística

GSR – Resposta Galvânica da Pele

GUI – Interface gráfica do utilizador (Graphical User Interface)

Hz – Hertz

IDE – Ambiente de Desenvolvimento Integrado (Integrated Development Environment)

IEEE – Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

IHC – Interface Humano Computador

ISO – Organização Internacional de Normalização (International Organization for Standardization)

MRM – Movimentos Respiratórios por Minuto

OIT – Organização Internacional do Trabalho

OMS – Organização Mundial de Saúde

PDF – Formato de Arquivo (Portable Document Format)

PEDro – Base de Dados em Evidências em Fisioterapia (Physiotherapy Evidence Database)

POO – Programação Orientada a Objetos

RCT – Estudo Clínico Randomizado Controlado (Randomized controlled trial)

RED – Reação Eletrodérmica

RMP – Relaxamento Muscular Progressivo

RMS – Raíz Quadrada Média (Root Mean Square)

RSA – Arritmia Sinusal Respiratória

RSL – Revisão Sistemática de Literatura

RUP – Processo Unificado da Rational (Rational Unified Process)

SGBD – Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (Data Base Management System)

SNE – Sistema Nervoso Autônomo

SO – Sistema Operacional

SQL – Linguagem de Consulta Estruturada (Structured Query Language)

TAG – Transtorno de Ansiedade Generalizada

TCC – Terapia Cognitivo-Comportamental

TDAH – Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade

TEA – Transtorno do Espectro Autista

TEPT – Transtorno do Estresse Pós-Traumático

TF – Transformada Fourier (Fourier Transform)

UML – Linguagem de Modelagem Unificada (Unified Modeling Language)

USB – Barramento Serial Universal (Universal Serial Bus)

VFC – Variabilidade da Frequência Cardíaca

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	20
1.1. Apresentação.....	20
1.2. Motivação	22
1.3. Objetivos da pesquisa.....	23
1.3.1. <i>Gerais</i>	23
1.3.2. <i>Específicos</i>	23
1.4. Contribuições desta dissertação	24
1.5. Estrutura da dissertação	24
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: MODALIDADES DE <i>BIOFEEDBACK</i>.....	26
2.1. Conceito e descrição	26
2.2. Terapia Cognitivo-Comportamental em <i>Biofeedback</i>	27
2.2.1. <i>Aplicações clínicas</i>	28
2.3. Treinamento com <i>biofeedback</i>	29
2.4. Principais modalidades de <i>biofeedback</i>	32
2.4.1. <i>Feedback termal</i>	32
2.4.2. <i>Feedback respiratório</i>	33
2.4.3. <i>Feedback muscular - Miofeedback</i>	34
2.4.4. <i>Feedback cardíaco - Cardiofeedback</i>	35
2.4.5. <i>Feedback neural - Neurofeedback</i>	36
2.4.6. <i>Feedback eletrodérmico</i>	37
2.5. Resumo do capítulo	38

ESTADO DA ARTE EM BIOFEEDBACK	39
3.1. Visão geral.....	39
3.2. Materiais e métodos.....	39
3.3. Pesquisas envolvendo tipos distintos de feedback.....	41
3.3.1. <i>Feedback termal</i>	41
3.3.2. <i>Feedback respiratório</i>	42
3.3.3. <i>Feedback muscular - Miofeedback</i>	43
3.3.4. <i>Feedback cardíaco - Cardiofeedback</i>	45
3.3.5. <i>Feedback neural - Neurofeedback</i>	47
3.3.6. <i>Feedback eletrodérmico</i>	49
3.4. Considerações gerais sobre os trabalhos consultados	50
MATERIAIS E MÉTODOS DE DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA.....	52
4.1. Introdução.....	52
4.2. Equipamento para registro de sinais	53
4.3. Ferramentas de desenvolvimento de <i>software</i> empregadas	54
4.4. Processo para desenvolvimento do <i>software</i> de <i>biofeedback</i>	57
4.5. Arquitetura do Sistema.....	59
4.5.1. <i>Requisitos funcionais</i>	59
4.5.2. <i>Requisitos não funcionais</i>	60
4.5.3. <i>Diagrama de casos de uso</i>	62
4.5.4. <i>Diagrama de classes</i>	63
4.5.5. <i>Diagrama de atividades</i>	63
4.6 Considerações sobre o capítulo.....	64

SISTEMA COMPUTACIONAL INTERATIVO POR MEIO DE AQUISIÇÃO DE SINAIS

BIOLÓGICOS 65

5.1.	Interfaces gráficas do usuário	65
5.2.	Interface de Conexão.....	67
5.3.	Interface Principal	68
5.4.	Cadastrar Paciente	69
5.5.	Iniciar Sessão	71
5.5.1.	<i>Terapeuta</i>	73
5.5.2.	<i>Cálculos do sinal</i>	75
5.5.3.	<i>Ambiente: Dia e noite</i>	77
5.5.4.	<i>Ambiente: Expressões</i>	79
5.5.5.	<i>Ambiente: Neblina</i>	81
5.5.6.	<i>Ambiente: Quebra-cabeça</i>	83
5.6.	Gerar Relatório	85
5.7.	Ajuda	88
5.8.	Sobre o sistema	89
5.9.	Considerações sobre o capítulo	89

VALIDAÇÃO DO SISTEMA: EXPERIMENTOS E AVALIAÇÕES 90

6.1.	Validação do Sistema	90
6.2.	Protocolo utilizado nas sessões realizadas	92
6.2.1.	<i>Ambiente: Dia e noite</i>	95
6.2.2.	<i>Ambiente: Expressões</i>	97
6.2.3.	<i>Ambiente: Neblina</i>	99
6.2.4.	<i>Ambiente: Quebra-cabeça</i>	101
6.3.	Avaliação dos resultados	103

6.4. Resumo do capítulo	105
CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	106
7.1. Conclusões gerais	106
7.2. Trabalhos futuros	107
REFERÊNCIAS	109
APÊNDICES	116
Apêndice A - Diagrama de casos de uso	116
Apêndice B - Diagrama de classes	117
Apêndice C - Diagrama de atividades	118

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO

É crescente a quantidade de pessoas com algum tipo de doença mental (VOS et al., 2015). Segundo a Organização Mundial de Saúde, OMS (FUNK et al., 2010), entre 75% a 85% das pessoas que sofrem de algum tipo de transtorno mental não têm acesso a tratamento adequado, sendo que doenças e transtornos mentais afetam mais de 400 milhões de pessoas no mundo.

Transtornos psicológicos ou mentais são modificações que ocorrem no comportamento da pessoa que podem afetar a vida social, a vida pessoal, o trabalho, os estudos, a compreensão de si e dos outros, a possibilidade de autocrítica, a tolerância a situações de estresse. Transtornos como ansiedade, depressão, distúrbios alimentares e dependência química podem afetar qualquer pessoa, independente de idade.

Os transtornos mentais, em geral resultam da soma de muitos fatores como: alterações no funcionamento do cérebro, condições genéticas, aspectos da própria personalidade do indivíduo, consequência de ocorrências de estresse constante, abusos de natureza física ou psicológica, frustrações, sofrimentos físicos e psíquicos que abalam o equilíbrio emocional.

Tais transtornos respondem favoravelmente ao tratamento médico e a outras terapias. Esses métodos são tratados, de uma maneira geral, com uma associação de meios psicológicos e medicamentosos. Algumas condições não requerem o uso de medicamentos e são tratadas apenas por meios psicológicos. Caberá ao profissional que faz o diagnóstico ter o primeiro contato com o paciente, fazer a indicação de quais recursos serão necessários para a terapia utilizada.

No Brasil, a estimativa é de 23 milhões de pessoas que passem por estes problemas, cerca de 12% da população do país. Sendo que cinco milhões de pessoas se encontram em níveis de moderado a grave, em média 3% da população (AGÊNCIA

BRASIL, 2010). Grande parte dessas pessoas não recebem nenhum tratamento psicológico ou farmacêutico para a saúde mental, muitas vezes devido às dificuldades de acesso a esses serviços.

As doenças mentais mais comuns estão ligadas à depressão, estresse, ansiedade e a transtornos de ajustamento. Os transtornos mentais como estresse e depressão afastam do trabalho mais de 200 mil pessoas por ano no Brasil, segundo dados do INSS (G1, 2013). De acordo com a Organização Internacional do Trabalho (OIT), o estresse pode causar alterações agudas e crônicas no desempenho dos funcionários, especialmente “se o corpo não consegue descansar e se recuperar” das atividades trabalhistas (CHAGAS, 2017).

Uma maneira proposta por *Lancet Global Mental Health Group* (LANCET GLOBAL MENTAL HEALTH GROUP et al., 2007) de reduzir essa falta de acompanhamento e tratar diferentes tipos de desordens psiquiátricas seria introduzir tratamentos cognitivos comportamentais inovadores, como por exemplo: *feedback* cognitivo, sistemas computacionais interativos, relaxamento por imagens, grupos de autoajuda e hipnose, que são de baixo custo e facilmente acessíveis.

Sistemas interativos de aquisição e processamento de sinais biológicos, mais conhecidos como sistemas de *biofeedback*, ajudam os pacientes a reconhecer e alterar sintomas físicos problemáticos (PAL SINGH; KAUR, 2007) que podem estar agravando o problema psicológico associado.

Há diversos modos para reconhecer esses sintomas físicos com tais sistemas, onde um ou mais canais de captura de sinais biológicos podem ser utilizados para determinar um limiar adequado para determinada patologia. Os tipos de *biofeedback* mais utilizados para terapia são: respiratório, eletrocardiograma, eletroencefalograma, temperatura da pele, eletromiograma e de resposta galvânica da pele.

Para modificar a resposta fisiológica é necessário que o paciente aprenda a se regular. Essa etapa de aprendizado leva tempo e dedicação. Para que isso ocorra de maneira eficaz e natural é importante que os sistemas de *biofeedback* apresentem uma interface simples e interativa que permita ao usuário notar os seus avanços de acordo com as alterações dos sinais biológicos apresentadas pela interface.

A eficiência clínica do *biofeedback* tem sido investigada em uma série de distúrbios como apresenta (FULLER, 1977). Dentre elas, pode-se citar:

- Asma;
- Depressão;
- Disfunção temporomandibular;
- Distúrbios de aprendizagem, como distúrbios do espectro do autismo (TEA), transtorno do déficit de atenção com hiperatividade (TDAH);
- Cefaleia e dores crônicas;
- Incontinência fecal e urinária;
- Insônia;
- Manifestações de estresse, estafas e síndromes de fadiga crônica;
- Ansiedade e distúrbios obsessivo-compulsivo, fobias e síndrome do pânico;
- Reabilitação de pessoas que sofreram paralisia cerebral, acidente vascular cerebral (AVC) e outros distúrbios neuromusculares.

Desta maneira, nota-se que sistemas de aquisição e processamento de sinais biológicos baseiam-se em tratamentos realizados a médio e longo prazo. No qual o paciente começa a aprender a se autorregular, e dessa forma consegue melhorar a patologia tratada de maneira natural e intuitiva sem intervenções medicamentosas e a baixo custo.

1.2. MOTIVAÇÃO

Sistemas de *biofeedback* podem ser utilizados como terapia cognitivo-comportamental, sendo uma alternativa ao uso de medicamentos. Tal afirmação é feita considerando que se trata de uma maneira eficaz, atrativa e dinâmica para o paciente. Capaz de possibilitar tratamentos a médio e longo prazo de diversos transtornos psiquiátricos visando a auto regulação dos sinais biológicos.

1.3. OBJETIVOS DA PESQUISA

1.3.1. Gerais

O objetivo desta pesquisa é desenvolver e validar um sistema capaz de ser utilizado em terapias de *biofeedback* empregando diferentes canais de aquisição de sinais biológicos. Ao mesmo tempo, prover diversificados ambientes virtuais interativos para o tratamento de determinadas funções terapêuticas como: estresse, ansiedade, insônia, relaxamento e reforço muscular.

1.3.2. Específicos

A fim de alcançar o propósito desta pesquisa, foram estipulados os objetivos específicos:

- Especificar as necessidades de um sistema de *biofeedback* de múltiplos canais e com diferentes funções terapêuticas;
- Efetuar o controle dos ambientes a partir das alterações no sinal recebido;
- Elaborar e apresentar a documentação referente aos diagramas de casos de uso, de classes, de atividades, além dos requisitos funcionais e não-funcionais do sistema de modo a melhor caracterizar sua interação com seus usuários;
- Realizar experimentos para avaliar o comportamento do sistema proposto nas funções terapêuticas;
- Analisar os resultados dos testes realizados com os voluntários;
- Discutir a eficácia do sistema desenvolvido e possíveis melhorias para trabalhos futuros.

1.4. CONTRIBUIÇÕES DESTA DISSERTAÇÃO

Almeja-se desenvolver a base de um sistema interativo de multivariáveis para o tratamento de determinadas funções terapêuticas como: estresse, ansiedade, insônia, relaxamento e reforço muscular em diferentes ambientes virtuais criados para a interação com o usuário em tempo real. Em consequência disto, espera-se que os resultados deste estudo possam contribuir com as discussões atuais e futuras em torno da temática de tratamentos alternativos utilizando sinais biológicos para auxiliar no processo de promoção de consciência corporal das pessoas.

1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

As estratégias selecionadas para alcançar os objetivos expostos estão relatadas em cada um dos capítulos deste trabalho. Estruturalmente, este texto está organizado da seguinte forma:

- Capítulo 1: apresentação de uma introdução e contextualização geral sobre o tema, a motivação para a realização desta pesquisa e seus os objetivos.
- Capítulo 2: apresentação das bases teóricas sobre sistemas de aquisição e processamento de sinais biológicos e detalhamento das principais variáveis empregadas para a aquisição de sinais.
- Capítulo 3: visão geral do estado da arte atual, com a apresentação de um conjunto de trabalhos selecionados que oferecem relevância para esta pesquisa, detalhando o desenvolvimento e os testes realizados com sistemas de *biofeedback*.
- Capítulo 4: detalhamento das tecnologias (*hardware* e *software*) e ferramentas utilizadas para o desenvolvimento e dos métodos para a concepção do *software* focando na visão geral do projeto, mostrando diagramas de casos de uso, de classes, de atividades, além dos requisitos funcionais e não-funcionais do sistema

- Capítulo 5: descrição das funcionalidades de suporte e dos ambientes criados, também é exposto as principais características e componentes para o uso adequado do sistema.
- Capítulo 6: experimentos com diferentes variáveis e para diversas funções terapêuticas a fim de validar funcionalmente o sistema desenvolvido. Também são apresentados os resultados dos testes realizados com os voluntários e discussões sobre a eficácia do sistema desenvolvido e suas limitações.
- Capítulo 7: considerações finais e conclusões gerais sobre os resultados alcançados e trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: MODALIDADES DE *BIOFEEDBACK*

2.1. CONCEITO E DESCRIÇÃO

O termo *biofeedback* foi criado no final da década de 60 na Califórnia, com a formação da *Biofeedback Research Society*. Originou-se da junção da palavra *bio*, de origem grega: “vida”, e das palavras *feed* e *back*, do inglês, respectivamente: “alimentar” e “retorno”. Em tradução literal significa “bioretroalimentação”. Funciona pela captação do sinal biológico (*bio*), e representação do mesmo (*feedback*).

Pode-se dizer que o mesmo corresponde às técnicas de tratamento nas quais o sujeito é treinado para aprimorar sua capacidade em se autorregular, utilizando dos sinais gerados pelo seu corpo. Como descreve (FULLER, 1977), um instrumento de *biofeedback* é um monitor passivo como um rádio. Ele não faz nada por você. Ele apenas informa o que você fez.

O treinamento com *biofeedback* deve atuar diretamente no comando da mente e do corpo. Para isso, é utilizado instrumentos para medir, ampliar e fornecer dados fisiológicos para o paciente que está sendo monitorado, principalmente naqueles processos considerados involuntários ou inconscientes (GRAZZI, 2007). Podendo receber informações tais como temperatura corporal, resposta galvânica de pele, intensidade da respiração, sinal muscular, cerebral ou cardíaco.

Dessa forma, os pacientes percebem por meio do *feedback*, como seus organismos estão exercendo certa função. Como observa (NOVELETTO et al., 2016), esses sinais de *feedback* geralmente são apresentados na forma auditiva ou visual. Eles oferecem um importante acréscimo de informações para o indivíduo, possibilitando um aumento da aprendizagem e a melhora no processo de reabilitação.

2.2. TERAPIA COGNITIVO-COMPORTAMENTAL EM *BIOFEEDBACK*

A Terapia Cognitivo-Comportamental (TCC) surgiu no início da década de 60 com o intuito de ponderar pensamentos distorcidos e abrandar sintomas depressivos. Segundo (BECK, 1986, *apud* DATTILIO; FREEMAN, 1998), a mesma difere dos modos tradicionais da psicoterapia por se tratar de um processo cooperativo de investigação empírica, testagem da realidade e resolução de problemas entre o terapeuta e o paciente.

Para (DATTILIO; FREEMAN, 1998), a terapia cognitivo-comportamental tem um enorme impacto sobre o campo da saúde mental, demonstrando eficácia na compreensão e no tratamento de uma ampla extensão de distúrbios emocionais e comportamentais. Sendo que se trata de uma abordagem que é mais específica, breve e focada no problema atual do paciente.

Como observa (STERNBERG, 2008), a psicologia cognitiva trata do modo como as pessoas percebem, aprendem, recordam e pensam sobre uma determinada informação. Por isso, sistemas de *biofeedback* possuem treinamentos baseados na aplicação da terapia cognitivo-comportamental para o auxílio no tratamento de um distúrbio emocional ou comportamental.

No geral, sistemas de *biofeedback*, buscam unir técnicas de TCC por meio de interações com Interfaces Humano Computador (IHC), a fim de que os usuários aprendam a controlar as alterações do seu corpo e que possam criar uma autoconsciência sobre o funcionamento do mesmo. Para (LANTYER et al., 2013) técnicas utilizando *biofeedback* propiciam um aprendizado capaz de gerar uma regulação espontânea das respostas fisiológicas e emocionais.

As Interfaces Humano Computador (IHC) são práticas de usabilidade que podem ser implementadas em tudo, de uma torradeira a uma maçaneta, ou até mesmo à embalagem de ambos. A IHC está baseada na usabilidade e foca no modo como os seres humanos se relacionam com os produtos ligados à computação (LOWDERMILK, 2013), neste caso, como o usuário utilizará o computador com o sistema de *biofeedback* como ferramenta para a TCC.

De acordo com (PREECE et al., 1994), a estrutura dominante que tem caracterizado as IHC são de base cognitiva. Em geral, a cognição se refere ao

processo pelo qual nós nos familiarizamos com as coisas ou, em outras palavras, como nós adquirimos conhecimento sobre o que nos cerca.

O objetivo principal do *biofeedback*, como aplicação de IHC, tem sido entender e representar como as pessoas interagem com o sistema e com seus *feedbacks*, gerados pela captação do sinal. Ou seja, como o conhecimento é transmitido entre os dois: humano e computador. A aplicação da TCC com o *biofeedback* trabalham: percepção, atenção, memória, aprendizado, pensamento e solução de problemas.

2.2.1. Aplicações clínicas

Há várias patologias suscetíveis ao tratamento de médio a longo prazo com técnicas de *biofeedback*, como observa (MIOTEC, 2017):

- Autoconsciência e consciência externa;
- Distúrbios obsessivo-compulsivo;
- Manifestações de estresses, estafas e síndromes de fadiga crônica;
- Ataques de ansiedade;
- Ataques de pânico;
- Melhora de concentração, níveis de percepção corporal e memória;
- Auxílio no gerenciamento do estresse;
- Elevação do grau de relaxamento psicofisiológico e clareza mental;
- Depressão;
- Distúrbios do sono, como a hipersônia e a insônia;
- Doenças gastrintestinais de fundo psicológico, como colites, gastrites, úlceras, diarreias, prisão de ventre;
- Desempenho e aprimoramento da performance esportiva;
- Arritmias cardíacas, o que envolve taquicardia e contrações ventriculares;
- Asma;

- Disfunção temporomandibular;
- Distúrbios alimentares, como bulimia, anorexia e obesidade;
- Distúrbios de aprendizagem, como distúrbios do espectro do autismo (TEA), transtorno do déficit de atenção com hiperatividade (TDAH);
- Dores de cabeça do tipo enxaqueca, de origem vascular ou muscular;
- Fobias;
- Problemas musculares, como torcicolo e bruxismo;
- Incontinência fecal e urinária;
- Dores crônicas, principalmente musculares;
- Reabilitação de pessoas que sofreram paralisia cerebral, acidente vascular cerebral (AVC) e outros distúrbios neuromusculares.

2.3. TREINAMENTO COM *BIOFEEDBACK*

Na fase inicial, ocorre a detecção ou captação do sinal (resposta fisiológica). Segundo (BROWN, 1972) pode-se diferenciar três tipos de sinais: de origem bioelétrica direta, de origem bioelétrica indireta (ambos são captados por meio de eletrodos de registro, como por exemplo: atividade elétrica direta produzida por um órgão ou tecido particular) e os de origem física (fenômenos como temperatura, movimento, pressão ou força).

Após a captação do sinal, o mesmo deverá ser amplificado até um determinado nível, para que possa ser manipulado pelo sistema. Além disso, também é necessário realizar a etapa da filtragem, que ameniza a presença indesejada de ruídos no sinal. Esta regulagem do amplificador permite amplificar unicamente aquelas características que definem o sinal de interesse, filtrando-os do resto dos sinais interferentes que tenham sido registrados pelos eletrodos (RUGH, 1979).

Durante a etapa de processamento e simplificação, o sinal direto, que foi manipulado até esse momento, é filtrado e integrado, com o intuito de extrair só a parte de informação necessária ao objetivo (CARROBLES; GODOY, 1987).

A próxima fase tem como finalidade converter o sinal já captado em respostas visuais e/ou auditivas estimulantes, para informação ao sujeito que está em treinamento. Com o objetivo de que, por meio desta informação, seja possível aprender a controlar ou modificar a resposta no sentido apropriado, completando-se o circuito de *feedback*, quando o sinal previamente registrado é retroalimentado (SIMÓN, 1996).

As duas últimas etapas do sistema de *biofeedback* fazem referência à modalidade de apresentação do sinal, deve-se distinguir três aspectos (LABRADOR; ENCINAS, 1984):

- Modalidade sensorial do sinal apresentado: ou seja, como esse sinal e suas alterações são transmitidas para o sujeito. As formas mais comuns são de maneira visual ou auditiva;
- Tipo de informação: pode ser dividida em dois tipos de *feedback*, sendo eles binário (quando se estabelece uma meta fixa e o sujeito deve estar acima ou abaixo da mesma) ou proporcional (quando a resposta visual ou auditiva que o sujeito recebe modifica-se constantemente de acordo com o sinal captado);
- Relação entre o sinal e a resposta: depende da continuidade do sinal, podendo ser de *feedback* contínuo, descontínuo intermitente ou discreto conforme o sinal esteja constantemente presente ou só apareça em intervalos de tempo.

As fases do tratamento com *biofeedback* segue seis etapas de desenvolvimento, realizadas em parceria do terapeuta com o paciente. A informação que se dá ao paciente sobre a técnica de *biofeedback* utilizada é importante, já que o grau de melhora do sujeito depende, em grande parte, do seu próprio conhecimento da técnica e da motivação para a realização da tarefa. Quanto mais ampla e precisa for a informação que o sujeito possua sobre o tratamento, mais eficaz se manifesta a técnica (MALMIERCA, 1986).

A etapa de avaliação inicial ocorre por meio da análise do problema apresentado, que pode ser feita com entrevistas, auto-observação, registros psicofisiológicos, observação e relato da vida cotidiana do mesmo: atividades profissionais, vida familiar e com os amigos. Além de questionar o paciente sobre

quais são suas expectativas em relação ao tratamento, e assim definir o transtorno a ser tratado e buscar os possíveis fatores que intensificam ou amenizam tal patologia.

Já a definição da linha base, tem por objetivo fundamental obter um perfil dos níveis de atividade psicofisiológica do sujeito, sem administrar-lhe nenhum tipo de *feedback* e em condições tanto de relaxamento ou repouso como de atividade induzida experimentalmente (GAARDER; MONTGOMERY, 1977).

Assim, torna-se viável antes de começar a efetuar o registro, a espera de um determinado tempo para que o paciente se adapte aos aparelhos, em condições de relaxamento. Após esse período é feito o primeiro registro. Dessa forma, tem-se o registro inicial de resposta para comparar o possível progresso ao longo do tratamento e selecionar a variável adequada para determinar o *feedback* ao paciente.

Terminada a análise comportamental é necessário traçar o período de fixação de meta, que ocorre de forma continua, onde o terapeuta estabelece metas gradativas e próximas a fim de reduzir ou eliminar os sintomas previamente notados. Também, deve ficar esclarecido ao paciente qual o fundamento da terapia, o papel dos aparelhos, e a sua própria tarefa que será realizada ao longo do treinamento e como deve guiar seu esforço por intermédio da informação proveniente do sistema e do próprio terapeuta (BASMAJIAN, 1979).

O tratamento em si, acontece quando ocorre o treinamento e a terapia, geralmente é realizado de duas a três vezes por semana e dependerá do problema apresentado. Há casos que espera-se haver uma diminuição nos níveis de resposta, como por exemplo casos de cefaleia, e outros casos em que se espera o aumento no sinal recebido, como para reabilitação muscular. O ideal é espaçar as sessões de treinamento, para poder recolher informações sobre o grau de controle que vai se produzindo na resposta sob o estudo e sobre a generalização do treinamento (LABRADOR; ENCINAS, 1984).

O término do tratamento com as sessões finais se dá pela etapa de retirar paulatinamente o sinal de *feedback*, enquanto o paciente tenta produzir uma determinada mudança na resposta. Assim, o tratamento terá tido êxito quando o paciente conseguir regular suas respostas fisiológicas, tanto com o auxílio do sistema como na ausência do mesmo, tanto num ambiente clínico ou fora dele.

Igualmente pode-se preparar o sujeito para a transferência e a manutenção nas situações da vida real, da auto regulação fisiológica aprendidas na clínica ou no laboratório, por meio de procedimentos de controle de estímulos e do treinamento em condições atípicas ou difíceis (LYNN, 1981). Para isso, a etapa de seguimento baseia-se em sessões isoladas no período de meses, normalmente uma sessão a cada um, três, seis e doze meses, para que sejam medidas as respostas do paciente na ausência de *biofeedback* continuo e seja comprovado sua eficácia.

2.4. PRINCIPAIS MODALIDADES DE *BIOFEEDBACK*

2.4.1. *Feedback* termal

Sistemas de *biofeedback* por temperatura da pele ou *feedback* termal, são capazes de mensurar valores utilizando sensores colocados nos dedos. Os vasos dos dedos são mais sensíveis ao estresse e ao relaxamento. Capta variações na temperatura das extremidades, medindo o fluxo sanguíneo através dos pequenos vasos capilares da pele em regiões distais.

Segundo a (ABBIO - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE *BIOFEEDBACK*), nessa técnica, o sensor também pode ser acoplado nas pontas dos dedos. Quando ativamos nossas respostas de defesa, como ocorre em situações de estresse, os vasos se contraem e a temperatura tende a cair. Quando estamos mais relaxados, realizando atividades prazerosas e tranquilas, os vasos dilatam e a temperatura nas extremidades tende a aumentar.

Equipamentos de *feedback* termal medem o fluxo sanguíneo na pele. Isto a partir do fato de quando os vasos na pele se dilatam (vasodilatação), a temperatura e o fluxo sanguíneo se elevam; já quando esses pequenos vasos se contraem (vasoconstricção), a temperatura e o fluxo sanguíneo atenuam.

A temperatura corporal indica a contração ou relaxamento dos músculos ao redor dos vasos sanguíneos, que são capazes de determinar a quantidade de sangue que chegará até as pontas dos dedos. Já quando ocorre destes músculos estarem

contraídos e a pessoa está tensa, o fluxo sanguíneo será reduzido nas extremidades e a temperatura diminuirá (ROSSI, 2005).

O *feedback* termal ou de fluxo sanguíneo é utilizado no tratamento dos distúrbios vasculares característicos, como: hipertensão, enxaqueca e problemas vasculares. Esta modalidade é também recomendada para pessoas que querem aprender a relaxar, na melhora da resistência a certos tipos de enxaqueca e também em treinamento para superação de distúrbios vasculares específicos.

2.4.2. *Feedback* respiratório

O *feedback* respiratório é mensurado por sensores colocados na pele que são capazes de captar respirações por minuto. Dependendo da circunstância, a respiração pode se tornar mais acelerada, mais pausada ou irregular indicando variados níveis de ansiedade.

A Tabela 1 apresenta as taxas ideais de respirações, medidas por movimentos respiratórios por minuto (MRM), em estado de repouso, em cada faixa etária:

Tabela 1 - Taxas respiratórias normais.

<i>Faixa etária</i>	<i>Movimentos respiratórios por minuto</i>
Recém-nascidos (menores de 6 meses)	44 MRM
Bebês (6 meses a 1 ano)	20 a 40 MRM
Crianças (1 a 7 anos)	18 a 30 MRM
Adultos	12 a 20 MRM

Fonte: adaptado de (LINDH et al., 2009).

Segundo (KNEIT, 2003, apud SÁ, 2004) a detecção da frequência respiratória pode ser feita de diversas maneiras: temperatura do fluxo do ar nasal; pressão por sensores fixados no abdômen e tórax; eletromiografia de superfície nos músculos dos

trapézios superiores e no abdômen e por pleismografia que é a frequência por um sensor colocado no pulso ou no dedo indicador.

Os instrumentos de *feedback* respiratório são capazes de mensurar diferentes patologias relacionadas ao estresse. Tem sido usado no tratamento de ataques de ansiedade e pânico, fobias, insônia, doenças gastrintestinais de fundo psicológico, como colites, gastrites, úlceras, diarreias, prisão de ventre, desempenho e aprimoramento da performance esportiva.

2.4.3. *Feedback muscular - Miofeedback*

A atividade muscular é mensurada com o uso da eletromiografia de superfície (EMG), que por meio de sensores localizados na pele detecta atividade elétrica dos músculos esqueléticos, medindo estes sinais em microvolts (μ V). Estes sinais são processados, amplificados, filtrados e convertidos pelo equipamento e apresentados de forma gráfica, visual ou sonora, de maneira que possam ser reconhecidos e interpretados pelo indivíduo em treinamento (VILLANUEVA, 1988).

Há várias vantagens apontadas na literatura para a utilização do equipamento de *biofeedback* EMG para diferentes tipos de tratamento:

- É comumente utilizado para relaxamento, bruxismo, cefaleia, e complicações na articulação têmpora-mandibular, dor crônica, espasmos musculares, parálisia, disfunções musculares ocasionadas por ferimentos ou contusões.
- Além de treinamento visando a reabilitação física, com a reeducação muscular, podendo ser aplicado no tratamento de desordens orgânicas, recuperação de funções musculares e redução da dor (FERNANDO; BASMAJIAN, 1978).
- Segundo (HAMMERSCHLAG, 1999) é possível realizar treinamentos de facilitação, inibição e coordenação motora de maneira seletiva e eficaz.

- O aparelho de *biofeedback* realiza funções rotineiras e repetitivas, facilitando o trabalho do fisioterapeuta, que pode complementar o treinamento com estímulos verbais de reforço (BOOKER et al., 1969).

Segundo (BRACH et al., 1999) o *biofeedback* EMG é facilmente aceito pelos indivíduos por ser um método indolor e não-invasivo. Além disso, apresenta a vantagem de fornecer informações sobre a atividade muscular de maneira imediata, apurada e contínua, quantificando o nível de esforço e sucesso obtidos na tarefa realizada.

2.4.4. Feedback cardíaco - Cardiofeedback

O eletrocardiograma (ECG) é utilizado para registrar as oscilações elétricas que resultam da atividade do músculo cardíaco. Estes sinais, após serem registrados, são processados e analisados por meio de transformações matemáticas, como a Transformada de *Fourier* (TF).

O *cardiofeedback*, *biofeedback* utilizando a frequência cardíaca, é utilizado para registrar a variabilidade da frequência cardíaca (VFC). Quando a VFC está acima da média, muitas vezes é associada ao estresse, assim como a VFC abaixo da média pode ser associada à depressão. A Tabela 2 apresenta os valores médios esperados de batimentos cardíacos por minuto (BPM) para cada faixa etária, em estado de repouso:

Tabela 2 - Variação da frequência cardíaca em cada faixa etária.

Faixa etária	Batimentos por minuto
10 a 19	57 – 105
20 a 29	56 – 104
30 a 39	55 – 103

40 a 49	54 – 102
50 a 59	53 – 100
60 a 69	52 – 99
70 a 79	51 – 98
80 a 89	49 – 97
90 a 99	48 – 96

Fonte: adaptado de (UMETANI et al., 1998).

Para mensurar os batimentos cardíacos, pode se usar sensores fixados na pele, nas pontas dos dedos ou na parte interna dos pulsos presos com uma bandagem. Treinamentos com *cardiofeedback* são utilizados para o tratamento de patologias como: asma, estresse no ambiente de trabalho, ansiedade, síndrome do pânico, arritmias cardíacas, o que envolve taquicardia e contrações ventriculares e fadiga.

2.4.5. *Feedback neural - Neurofeedback*

As ondas cerebrais são medidas pelo eletroencefalograma (EEG). Nele, vários padrões distintos de funcionamento cerebral normal são identificados por (HALL, 1946), onde são denominados ritmo cerebral e estão apresentados na Tabela 3, juntamente com os valores de frequência e seu respectivo estado de consciência:

Tabela 3 - Ritmos característicos no sinal EEG e estado de consciência.

Ritmo cerebral	Faixa de frequência	Estado de Consciência
Delta	1 a 3 Hz	Sono profundo
Teta	4 a 7 Hz	Vigília/Sono

Alfa	8 a 13 Hz	Relaxamento
Beta	14 a 30 Hz	Alerta

Fonte: adaptado de (TAVARES, 1997).

Quando o paciente, utilizando o *biofeedback* de EEG, também conhecido como *neurofeedback*, se familiariza com o sentido de cada onda e com sua representação, normalmente de maneira visual ou sonora, ele pode ser treinado e estimulado a alcançar determinadas metas pré-estabelecidas aprendendo a aumentar ou a diminuir a atividade da onda determinada.

Para (DIAS, 2010) o *neurofeedback* é uma modalidade de condicionamento operante que visa ao reestabelecimento de padrões eletrofisiológicos adequados para o tratamento de determinadas desordens de caráter neurológico, psiquiátrico ou psicológico à amplificação de habilidades cognitivas normais e à potencialização da sensação de bem-estar.

Treinamentos com *neurofeedback* são bastante utilizados para o tratamento da epilepsia, transtorno do pânico, transtorno do déficit de atenção com hiperatividade (TDAH), depressão, alcoolismo, traumatismo craniano, desordens de sono ou insônia, dependência química e outros distúrbios consequentes do consumo de drogas pesadas.

2.4.6. *Feedback eletrodérmico*

Os instrumentos de *biofeedback* de reação eletrodérmica (RED) ou de Resposta Galvânica da pele (GSR) mensuram a condutividade da pele dos dedos e das palmas das mãos através de uma pequena corrente elétrica que é injetada entre os eletrodos e a resistência da pele (LIEW, 2001), neste caso o aparelho mede a resistência a esta passagem.

Assim, por exemplo, são medidas às alterações na condução de eletricidade sobre a superfície da pele: quando as glândulas sudoríparas estão ativas, a resistência à passagem da corrente diminui. Caso contrário, a resistência aumenta. A

medida da resistência elétrica traduz a atividade e inatividade das glândulas sudoríparas e é um reflexo da atividade do sistema nervoso simpático.

A resistência da pele altera de acordo com os acontecimentos mentais e psicológicos e a técnica de *biofeedback* eletrodérmico é uma maneira de obter informações sobre o nível psicofisiológico do sujeito. Em situações de grande estresse, o organismo muitas vezes reage provocando um acréscimo da atividade das glândulas sudoríparas. Assim, é possível estabelecer a relação entre o estado emocional e a atividade do sistema nervoso simpático (SÁ, 2004).

Os equipamentos para *feedback* de reação eletrodérmica (RED) medem a condutividade da pele dos dedos e palmas das mãos. *feedback* RED é comumente aplicado no tratamento de sudorese excessiva (hiperidrose) e situações dermatológicas relacionadas, além de treinamento para relaxamento e treinamento em dessensibilização sistemática (GREEN; GREEN, 1977).

2.5. RESUMO DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou o conceito do termo *biofeedback* e como esses sistemas de aquisição e processamento de sinais biológicos são empregados na terapia cognitivo-comportamental, para o tratamento de inúmeras aplicações clínicas. Além de apresentar as modalidades de *biofeedback* existentes e como o sinal capturado em cada uma delas é interpretado.

CAPÍTULO 3

ESTADO DA ARTE EM *BIOFEEDBACK*

3.1. VISÃO GERAL

O presente capítulo foi elaborado com a finalidade de apresentar uma revisão do estado da arte indicando como *biofeedback* foi usado para explorar o seu uso terapêutico e como ferramenta no tratamento de diversas desordens psiquiátricas ou como terapia complementar a outros métodos. Algum aprofundamento sobre os conhecimentos de técnicas já desenvolvidas e seus respectivos resultados, sejam eles favoráveis ou não, são também descritos.

3.2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliar os trabalhos de *biofeedback* mais relevantes encontrados na literatura científica internacional, foram feitas buscas em algumas das principais bases de dados da área da saúde, psicologia e engenharia a saber: Bireme, IEEE, Lilacs, PubMed, MEDLINE e Web of Sciences. Foram usadas diferentes conjuntos de palavras chaves, envolvendo, principalmente, os termos “*biofeedback*”, “*biofeedback training*”, “*anxiety*”, “*stress*”, “*psychology*”, “*psychiatric disorders*” dentre outros.

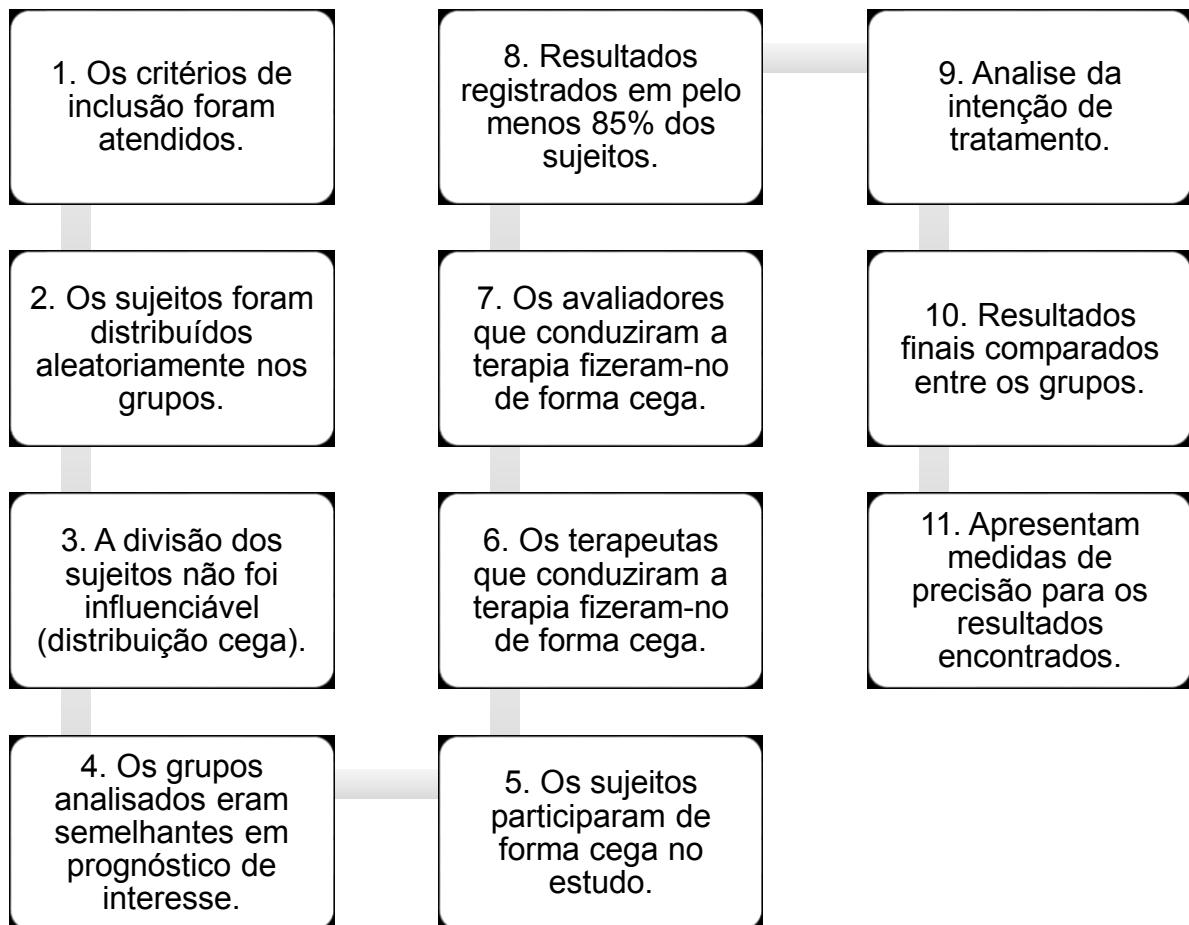
A análise dos critérios de inclusão, consistiu em selecionar somente artigos originais com relato de dados e estudos de investigação publicados entre 2007 e 2017. Tratam-se, essencialmente, de pesquisas que avaliam a eficácia de sistemas interativos de aquisição e processamento de sinais biológicos como tratamento terapêutico e não somente como mecanismo de mensuração.

Quanto aos critérios de exclusão, foram eliminados artigos que utilizaram sistemas de *biofeedback* como mecanismo de mensuração de sinais biológicos e não com função de tratamento terapêutico. Além disso, também foram eliminados artigos em que os métodos utilizados não estavam detalhados, revisões ou resenhas.

Também foram desconsiderados os artigos em que não foi possível ter acesso integral ao seu conteúdo.

Os artigos que satisfizeram os requisitos de inclusão citados anteriormente, foram então avaliados em alinhamento com a escala PEDro (“PEDro - Physiotherapy evidence database,” 1999), baseado em onze critérios para garantir a evidência de eficácia da intervenção. Estudos que não relataram pelo menos seis componentes foram considerados de qualidade insuficiente para a pesquisa e foram excluídos. Assim sendo, foi observado se as seguintes informações (ver Figura 1) eram tratadas nos artigos selecionados.

Figura 1 - Critérios para avaliação de qualidade.



Fonte: adaptado de escala PEDro (“PEDro - Physiotherapy evidence database,” 1999).

3.3. PESQUISAS ENVOLVENDO TIPOS DISTINTOS DE FEEDBACK

Considerando os artigos selecionados que atenderam aos critérios anteriores, eles foram classificados segundo as técnicas de *biofeedback* empregadas nos mesmos. São elas: termal, respiratório, muscular (ou *miofeedback*), cardíaco (ou *cardiofeedback*), neural (ou *neurofeedback*) e o eletrodérmico. Cada uma destas técnicas é abordada separadamente na sequência.

3.3.1. *Feedback* termal

A pesquisa retornou os seguintes artigos da Tabela 4 que utilizaram *feedback* termal como avaliação. Mesmo assim não se descartou trabalhos que tenham empregado mais do que uma técnica.

Tabela 4 - Estudos que utilizaram *biofeedback* termal.

Título	Autores	País	Amostra	Eficácia
Effect of biofeedback-assisted autogenic training on headache activity and mood states in Korean female migraine patients	(KANG et al., 2009)	Coréia	32 mulheres com dor de cabeça, ansiedade e depressão	Sim
Biofeedback-Aided Relaxation Training Helps Emotional Disturbances in Undergraduate Students Before Examination	(GHOLAMI TAHSINI et al., 2017)	Alemanha	29 estudantes estressados	Sim

Fonte: autoria própria.

O estudo de (KANG et al., 2009) examinou o efeito do *biofeedback* sobre a ansiedade, dor de cabeça e depressão em mulheres. As pacientes foram divididas em um grupo de tratamento e um grupo de monitoramento. As pontuações nas escalas de ansiedade e depressão nos pacientes que receberam treinamento assistido por

biofeedback diminuíram após o tratamento. O resultado sugere, que apesar do período de tempo ter sido limitado, o treinamento assistido por *biofeedback* obteve efeitos satisfatórios no tratamento da enxaqueca e na melhora do nível de ansiedade.

No trabalho de (GHOLAMI TAHSINI et al., 2017) foram selecionados 29 estudantes com sintomas de depressão, ansiedade e estresse, devido aos exames finais da faculdade. Os mesmos foram divididos em dois grupos para comparação, e submetidos a oito sessões de *biofeedback* durante quatro semanas. O grupo que recebeu o tratamento de *biofeedback* conseguiu diminuir o sinal eletromiográfico, a taxa de respiração e aumentar a temperatura da pele, comprovando que o método utilizado é eficaz.

3.3.2. *Feedback respiratório*

Já sobre *feedback respiratório* foi possível encontrar três trabalhos dispostos na Tabela 5.

Tabela 5 - Estudos que utilizaram *biofeedback respiratório*.

Título	Autores	País	Amostra	Eficácia
Effectiveness of respiratory-sinus-arrhythmia biofeedback on state-anxiety in patients undergoing coronary angiography	(MIKOSCH et al., 2010)	Áustria	212 pacientes cardíacos	Sim
The effect of heart rate variability biofeedback on performance psychology of basketball players	(PAUL; GARG, 2012)	Índia	30 jogadores de basquete	Sim
The effects of respiratory sinus arrhythmia biofeedback on heart rate variability and posttraumatic stress disorder symptoms: a pilot study.	(ZUCKER et al., 2009)	EUA	38 pacientes com TEPT	Sim

Fonte: autoria própria.

Conforme referencia (MIKOSCH et al., 2010) em seu estudo, adultos que passaram por angiografia coronariana, com diabetes ou hipertensão, receberem o tratamento com sessões de *biofeedback*. Nestas, os voluntários recebiam uma resposta sobre as alterações na respiração e nas taxas cardíacas, aprendendo a controla-las por intermédio de técnicas de respiração abdominal. Os efeitos alcançados demonstram que, além do *biofeedback* atuar na redução da ansiedade e do estresse, também auxiliou no que diz respeito a diminuição da frequência cardíaca e pressão arterial.

Já em (PAUL; GARG, 2012) os autores buscaram *biofeedback* para aprimorar a performance de 30 jogadores de basquete, entre 18 e 29 anos de idade, e diminuir seu nível de ansiedade durante os campeonatos. Neste caso também utilizaram *biofeedback* da variação da frequência cardíaca (VFC), com métodos de redução do estresse como o relaxamento muscular progressivo (RMP) e respiração profunda, por 20 minutos por dia, durante 10 dias. Isto resultou na redução da ansiedade que antecede os jogos e, consequentemente, melhora do desempenho em campo.

Em um estudo realizado nos EUA, os autores (ZUCKER et al., 2009) compararam a arritmia sinusal respiratória (RSA) juntamente com o relaxamento muscular progressivo (RMP), por meio de tratamentos realizados para 38 pacientes com transtorno do estresse pós-traumático (TEPT), que se encontravam em uma casa para tratamento de transtornos por consumo de substâncias químicas. Ao final do tratamento, foi possível observar redução dos sintomas relatados segundo os autores destas pesquisas.

3.3.3. *Feedback muscular - Miofeedback*

A Tabela 6 apresenta dois trabalhos que utilizaram *miofeedback* (também conhecido como *biofeedback muscular*) como principal técnica de tratamento.

Tabela 6 - Estudos que utilizaram *biofeedback muscular (EMG)*.

Título	Autores	País	Amostra	Eficácia
Beneficial effects of accurate and false brief biofeedback on relaxation	(STRUNK et al., 2009)	EUA	63 universitários	Não
Therapeutic efficacy of neuromuscular electrical stimulation and electromyographic biofeedback on Alzheimer's disease patients with dysphagia	(TANG et al., 2017)	EUA	103 pacientes com Alzheimer	Sim

Fonte: autoria própria.

O primeiro trabalho apresentado, surge a partir da comparação entre *biofeedback* verdadeiro e falso. No qual o *biofeedback* falso ou placebo representa uma percepção fisiológica fictícia, segundo (ROCHA et al., 2008) utilizar comparações com placebo podem auxiliar a investigar a validade ou os efeitos de determinada intervenção e procedimento, como por exemplo, técnicas terapêuticas e técnicas de relaxamento.

Neste caso de (STRUNK et al., 2009), constatou-se que não foi apresentada discrepância entre os dois grupos, um que recebeu o *biofeedback* verdadeiro e o segundo que recebeu o *biofeedback* falso, para o controle do estresse entre os 63 estudantes universitários que participaram da pesquisa. Sendo assim, não foi possível comprovar eficácia no tratamento com o *biofeedback*.

Já em (TANG et al., 2017) foram divididos em dois grupos um total de 103 pacientes com doença de Alzheimer com disfagia, que se trata de uma condição em que a pessoa sofre de problemas no processo de deglutição que impeçam ou dificultem uma alimentação normal. O de controle continha 50 pacientes e o de tratamento com 53 pacientes. Este segundo grupo recebeu estimulação elétrica neuromuscular mais terapia de *biofeedback* EMG para melhorar a função de deglutição. Ao final do estudo ficou comprovada a melhoria da função de deglutição, melhor estado nutricional e menor risco de pneumonia por aspiração.

3.3.4. Feedback cardíaco - Cardiofeedback

A Tabela 7 resume os principais trabalhos que empregaram a técnica de *cardiofeedback* (*feedback cardíaco*):

Tabela 7 - Estudos que utilizaram *biofeedback cardíaco* (ECG).

Título	Autores	País	Amostra	Eficácia
Predicting Mood Changes in Bipolar Disorder Through Heartbeat Nonlinear Dynamics	(VALENZA et al., 2016)	França	14 adultos com espectro bipolar comprovado	Sim
Effects of neurofeedback versus stimulant medication in attention-deficit/hyperactivity disorder: a randomized pilot study	(OGRIM; HESTAD, 2013)	Noruega	32 crianças de 7 a 16 anos com TDAH	Não
Exploring the effectiveness of a computer-based heart rate variability biofeedback program in reducing anxiety in college students	(HENRIQUE S et al., 2011)	EUA	44 estudantes universitários	Sim
Evaluation of a biofeedback-assisted meditation program as a stress management tool for hospital nurses: a pilot study	(CUTSHALL et al., 2011)	EUA	8 enfermeiras	Sim
Effects of heart rate variability biofeedback in subjects with stress-related chronic neck pain: a pilot study	(HALLMAN et al., 2011)	Suécia	24 pacientes com dor crônica no pescoço ou ombros	Sim
Game-based peripheral biofeedback for stress assessment in children	(POP-JORDANOV A; GUCEV, 2009)	Macedônia	30 crianças saudáveis e 30 com FC, TAG e TDAH	Não
Efficacy of biofeedback for post-traumatic stress disorder	(LANDE et al., 2010)	EUA	39 militares	Não

Fonte: autoria própria.

O trabalho de (VALENZA et al., 2016), mapeou e analisou as alterações de humor utilizando o controle da variação da frequência cardíaca, durante 14 semanas. Os monitoramentos foram feitos duas vezes por semana, em 14 pacientes com espectro bipolar comprovado. Embora os resultados tenham se mostrados eficazes, uma limitação desse estudo foi o fato de seis indivíduos usarem medicamentos, incluindo antidepressivos, estabilizadores do humor, antipsicóticos o que poderia alterar os resultados dos monitoramentos.

Em (OGRIM; HESTAD, 2013) foi comparado os efeitos do emprego da terapia de *feedback* em 32 pacientes com déficit de atenção de uma clínica neuropsiquiátrica, com idade entre 7 e 16 anos. Ao todo 16 participantes foram submetidos ao *neurofeedback* e os outros 16 a medicação estimulante. A análise de covariância revelou uma desigualdade entre os grupos na avaliação a favor da medicação, devido ao resultado insatisfatório, acredita-se que para obter resultados positivos com o *neurofeedback* fazem-se necessárias sessões de treinamento frequentes e uma amostra maior.

As colocações de (HENRIQUES et al., 2011) em seu estudo com 44 universitários norte-americanos, que sofrem de ansiedade e estresse, relatou melhoras significativa após 20 sessões de *biofeedback* da variabilidade da frequência cardíaca (VFC).

No estudo piloto de (CUTSHALL et al., 2011) com enfermeiras de um hospital nos EUA, que manifestavam alto nível de estresse no local de trabalho, foram disponibilizados para uso em casa aparelhos de *biofeedback* de VFC, que deveriam ser utilizados quatro vezes por semana durante 30 minutos em cada dia, durante um mês. Os resultados demonstraram eficácia na redução nos níveis de estresse das profissionais.

Já no estudo piloto de (HALLMAN et al., 2011) realizado com 24 pacientes com dores crônicas no pescoço ou ombros que foram divididos em dois grupos: um experimental e outro de controle. Doze indivíduos do grupo experimental participaram de 10 sessões semanais de *biofeedback* e os resultados positivos mostraram que o *biofeedback* da VFC é útil para o alívio de sintomas originários de diferentes diagnósticos.

Já outro trabalho (POP-JORDANOVA; GUCEV, 2009) os autores fizeram uma análise sobre o *biofeedback* para crianças com estresse, fibrose cística, ansiedade

geral e transtorno de déficit de atenção e hiperatividade (TDAH). Foram aplicados questionários e quatro jogos, para 30 crianças, em uma só sessão. Nota-se pelos resultados gerados que o relaxamento foi mais trabalhoso de ser alcançado para crianças com ansiedade geral ou TDAH, apresentando níveis de relaxamento menores quando comparados ao grupo de controle saudável. Nesse caso o *biofeedback* não se mostrou eficaz.

Na pesquisa de (LANDE et al., 2010) foram avaliados 39 militares ativos atuando no Iraque ou no Afeganistão. Os mesmos foram divididos em dois grupos, sendo um de controle, que recebeu o tratamento e outro experimental, para a comparação dos resultados. Ao final da pesquisa, tanto o grupo de controle quanto o grupo experimental alcançaram melhorias nos sintomas de transtorno do estresse pós-traumático (TEPT). Assim, não foi possível observar o efeito superior do *biofeedback* pelos resultados similares nos dois grupos.

3.3.5. *Feedback neural - Neurofeedback*

Já sobre *neurofeedback* (*feedback neural*) foi possível encontrar quatro trabalhos dispostos na Tabela 8.

Tabela 8 - Estudos que utilizaram *biofeedback neural (EEG)*.

Título	Autores	País	Amostra	Eficácia
Efficacy of Alfa EEG wave biofeedback in the management of anxiety	(BHAT, 2010)	Índia	100 pacientes psiquiátricos	Sim
Moderation of increased anxiety in children and teenagers with the use of neurotherapy: Estimation of the efficacy	(ÉISMONT et al., 2011)	Ucrânia	17 crianças e adolescentes	Sim

Respiratory sinus arrhythmia feedback in a stressed population exposed to a brief stressor demonstrated by quantitative EEG and sLORETA	(SHERLIN et al., 2010)	EUA	43 adultos estressados	Sim
An RCT into the effects of neurofeedback on neurocognitive functioning compared to stimulant medication and physical activity in children with ADHD	(GELADÉ et al., 2017)	Holanda	103 crianças de 7 a 13 anos com TDAH	Não

Fonte: autoria própria.

Na pesquisa de (BHAT, 2010) realizada na Índia, com 100 pacientes psiquiátricos, foi utilizado o *biofeedback* com EEG, por meio do treinamento das ondas alfa/teta (A/T), para o reconhecimento de cada uma delas enquanto o paciente se encontra relaxado, com os olhos fechados, ouvindo músicas tranquilas. A fim de acrescer a relação A/T. Os resultados alcançados foram satisfatórios.

No trabalho apresentado por (ÉISMONT et al., 2011) na Ucrânia, com 17 crianças e adolescentes, divididas em dois grupos, demonstra que as modificações nas amostras de ondas cerebrais, seguidas pela diminuição nos níveis de ansiedade e de estresse, indicam que o *biofeedback* de EEG, ou *neurofeedback*, foi útil no grupo experimental, sendo eficaz para o tratamento em crianças e adolescentes.

Outro estudo norte-americano de (SHERLIN et al., 2010) fez uso da arritmia sinusal respiratória (RSA) e do EEG em 43 pessoas com altos níveis de estresse e comprovou que o RSA provocou um acréscimo de ondas alfa e uma redução de ondas beta, as quais são importantes para o controle de estresse. Foi possível demonstrar a redução do estresse nos participantes.

Na pesquisa de (GELADÉ et al., 2017) foi utilizado o *neurofeedback* como tratamento alternativo em 103 crianças entre 7 a 13 anos com transtorno de déficit de atenção e hiperatividade (TDAH), como meio de otimizar a atividade cerebral na atenção, inibição e memória, todos os participantes estavam livres de medicação estimulante por 1 mês. Os resultados apontaram efeitos superiores da medicação estimulante sobre o funcionamento neurocognitivo, tornando assim o efeito do *neurofeedback* insuficiente para os casos.

3.3.6. Feedback eletrodérmico

A Tabela 9 apresenta os trabalhos que utilizaram *feedback eletrodérmico* (GSR) como principal técnica de tratamento.

Tabela 9 - Estudos que utilizaram *biofeedback eletrodérmico* (GSR).

Título	Autores	País	Amostra	Eficácia
Evaluation of a cognitive-behavioral intervention for adolescents	(YAHAV; COHEN, 2008)	Israel	255 adolescentes	Sim
Can biofeedback training of psychophysiological responses enhance athletes' sport performance? A practitioner's perspective	(PUSENJAK et al., 2015)	Inglaterra	39 atletas	Sim

Fonte: autoria própria.

Já sobre o *biofeedback* GSR, utilizado no estudo de (YAHAV; COHEN, 2008) em 255 estudantes israelenses, seguido de uma intervenção com terapia cognitivo-comportamental, apresentou uma diminuição notável na ansiedade e no estresse gerado antes de avaliações, analisando os dados da atividade eletrodérmica e os questionários preenchidos pelos estudantes antes e após o tratamento.

No trabalho de (PUSENJAK et al., 2015) foram avaliados 39 atletas entre 16 e 34 anos de idade de diferentes modalidades esportivas que passaram por testes de estresse. Um ano após a conclusão do programa de treinamento, todos os participantes do grupo experimental indicaram que ainda estavam usando as técnicas de *biofeedback* aprendidas, e além disso, esses participantes relataram uniformemente acreditar que obtiveram melhorias no desempenho atlético e bem-estar geral.

3.4. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE OS TRABALHOS CONSULTADOS

No fim deste capítulo, é apresentada uma análise realizada sobre os trabalhos consultados e o estado da arte atual, no qual pode-se observar que a maior parte dos artigos apresentados comprovou eficácia na utilização de sistemas interativos de aquisição e processamento de sinais biológicos como método terapêutico cognitivo comportamental no manejo de transtornos ligados às desordens psiquiátricas.

Apenas cinco entre os vinte artigos pesquisados e selecionados mostraram que as técnicas de *biofeedback* empregadas não proporcionaram eficácia sobre outro tratamento. Sendo eles:

- “Beneficial effects of accurate and false brief biofeedback on relaxation” (STRUNK et al., 2009), realizado com 63 universitários a fim confrontar o *biofeedback* verdadeiro e falso, não foi possível comprovar diferença notável entre ambos;
- “An RCT into the effects of neurofeedback on neurocognitive functioning compared to stimulant medication and physical activity in children with ADHD” (GELADÉ et al., 2017), estudo feito com 103 crianças de 7 a 13 anos, que já faziam uso continuo de medicação anteriormente, os resultados com o *biofeedback* foram inferiores ao tratamento com medicamento;
- “Effects of neurofeedback versus stimulant medication in attention-deficit/hyperactivity disorder: a randomized pilot study” (OGRIM; HESTAD, 2013), desenvolvido com 32 crianças e adolescentes com idade entre 7 e 16 anos, separadas em dois grupos de 16 participantes cada, onde um grupo foi submetido a medicação e outro ao *neurofeedback*, o primeiro grupo obteve diferença significativa ao segundo a favor da medicação;
- “Game-based peripheral biofeedback for stress assessment in children” (POP-JORDANOVA; GUCEV, 2009), realizado com 30 crianças com fibrose cística (FC), transtorno de ansiedade generalizada (TAG) e transtorno do déficit de atenção e hiperatividade (TDAH) não provou

diferenças notáveis na redução dos níveis de ansiedade e na execução dos jogos de *biofeedback*;

- “Efficacy of biofeedback for post-traumatic stress disorder” (LANDE et al., 2010), com 39 militares divididos em dois grupos, onde tanto o grupo experimental quanto o grupo de controle obtiveram melhorias nos sintomas de transtorno do estresse pós-traumático, não podendo observar o efeito superior do *biofeedback*.

Outro fator importante são as limitações que a maioria das pesquisas citadas registraram, sendo elas referentes ao tamanho reduzido de amostras e pouco tempo para a realização do tratamento e coleta de dados. Devido a isso, não há registros de efeitos a longo prazo, o que são características a se melhorar para a obtenção de resultados mais exatos.

O alto número de artigos com resultados positivos publicados indica que procedimentos de *biofeedback* podem ser convenientes como método de tratamento, principal ou auxiliar, juntamente com terapia cognitivo-comportamental no manejo de várias desordens, a baixo custo e com resultados satisfatórios a médio e longo prazo. É notável que se trata de uma área de alto potencial para desenvolvimento de ferramentas e aplicações móveis para tratamento alternativo e não invasivo de transtornos ligados à ansiedade e ao estresse.

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS DE DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

4.1. INTRODUÇÃO

O termo *biofeedback* é empregado para indicar a possibilidade de alteração de uma resposta fisiológica em função da informação de como ela se modifica (SIMÓN, 1996). *Biofeedback* pode ser definido como uma técnica que faz uso de uma série de equipamentos para demonstrar à pessoa que o utiliza, de forma gráfica, auditiva ou ambas, algum tipo de alteração ocasionada por seus eventos psicofisiológicos, ensinando-a a controlar e alterar tal evento.

A ideia básica do *biofeedback* é oferecer um sistema de interação em tempo real ao seu usuário, fornecendo uma resposta imediata de um determinado evento psicofisiológico que está sendo capturado e interpretado pelo conjunto de *hardware* e *software* do sistema. Através da medição da variação de um ou mais sinais, o sistema pode fornecer informações a respeito do nível de estresse, ansiedade, tensão muscular, falta de concentração, entre outros casos em que o indivíduo possa se encontrar. Isto possibilita a criação de uma estimativa, por parte do terapeuta, do quanto esse sinal registrado inicialmente deve se elevar ou se reduzir e o que o mesmo pode indicar.

Neste contexto, este Capítulo tem o objetivo de apresentar uma proposta de um sistema para uso em tratamentos terapêuticos, projetado para capturar e analisar os dados recebidos do paciente. Potencialmente, tais sinais podem ser de: EMG, EEG, ECG ou GSR. Com base nisto, o sistema deve ser capaz de gerar um retorno visual e auditivo ao usuário em tempo real, bem como um retorno das alterações ocorridas ao longo do processo da sessão terapêutica.

4.2. EQUIPAMENTO PARA REGISTRO DE SINAIS

Para captação de sinais, o sistema proposto utilizou um equipamento (*i.e., hardware*) de aquisição de sinais biológicos da EMG System modelo 800C-832 (SYSTEM, 2017). Tal equipamento é capaz de receber informações de até 8 canais, simultaneamente. Cada um deles, podendo, potencialmente, monitorar um diferente tipo de sinal biológico, desde que usando um sensor adequado. Seus recursos incluem entrada e saída analógicas ou digitais e medições de contador. Para a detecção de um determinado sinal são utilizados os sensores específicos de superfície (GUIDE, 2014). A Figura 2 ilustra o referido dispositivo.

Figura 2 - EMG System 800C-832 de 8 canais.



Fonte: autoria própria.

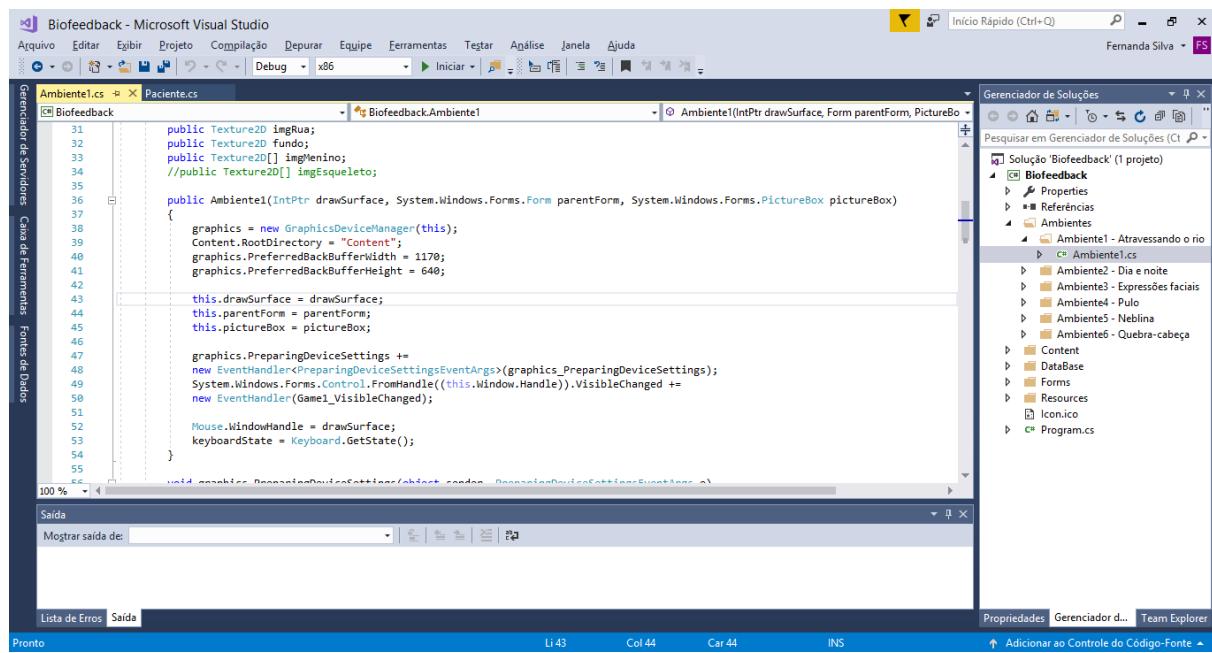
O equipamento é alimentado por uma bateria de 11,1 V e possui em seu projeto interno um dispositivo de conversão analógico-digital modelo USB-1208FS (MEASUREMENT COMPUTING CORPORATION, EUA). O sistema de *software* do dispositivo de *biofeedback* deve comunicar diretamente com este dispositivo através de um driver oferecido pelo próprio fabricante do USB-1208FS. Este driver, disponível em (CORPORATION, 2010), transfere os dados digitais registrados pelos sensores ligados aos canais analógicos para o *software* e também permite a configuração do

dispositivo de aquisição como, por exemplo, taxa de aquisição, resolução (número de bits), tamanho de buffer de memória, quais canais devem ser habilitados, fundo de escala analógico do sensor, etc. Isto possibilita ao *software* flexibilidade para trabalhar com diferentes tipos de sinais.

4.3. FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE EMPREGADAS

O *software* do sistema de *biofeedback* produzido por esta pesquisa foi implementado utilizando o paradigma de programação e modelagem conhecido como Programação Orientada a Objetos (POO). Já o ambiente de desenvolvimento para o desenvolvimento e testes do sistema foi o Visual Studio Community 2017, onde todo o código criado foi escrito na linguagem de programação C# e, secundariamente, em C++ (para alguns métodos de acesso aos recursos de driver do *hardware*). O Visual Studio 2017 é um ambiente de desenvolvimento interativo capaz de depurar, compilar e publicar aplicativos para o Android, iOS, Windows, a Web e a nuvem (MICROSOFT, 2017). A Figura 3 ilustra sua interface de programação.

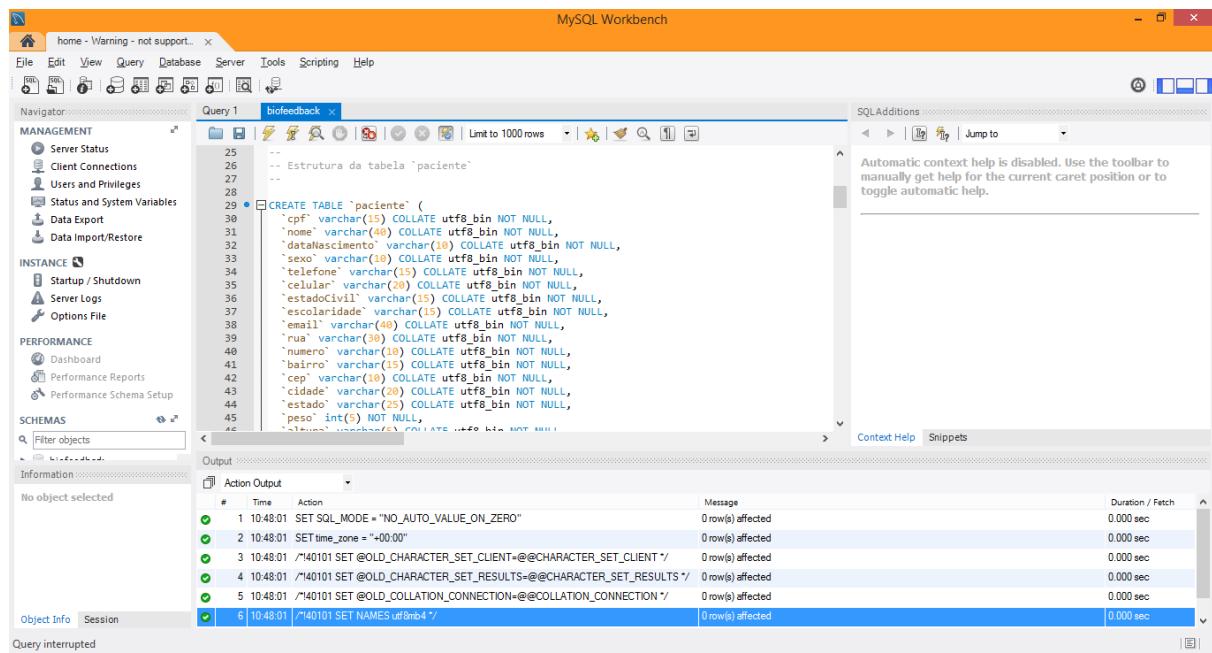
Figura 3 - Visual Studio 2017 – Ambiente de desenvolvimento.



Fonte: autoria própria.

Já o armazenamento das informações do *software* (informações de pacientes, das sessões realizadas, dos sinais, etc.) foi feito através de um banco de dados no MySQL Workbench 6.3 (ORACLE CORPORATION, EUA), versão Community Edition. Tal recurso trata-se de um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) mais populares do mundo (DB-ENGINES, 2014), usado para trabalhar com servidores MySQL. A Figura 4 ilustra a interface do MySQL Worbench e seus recursos de esquema gráfico (MYSQL, 2017).

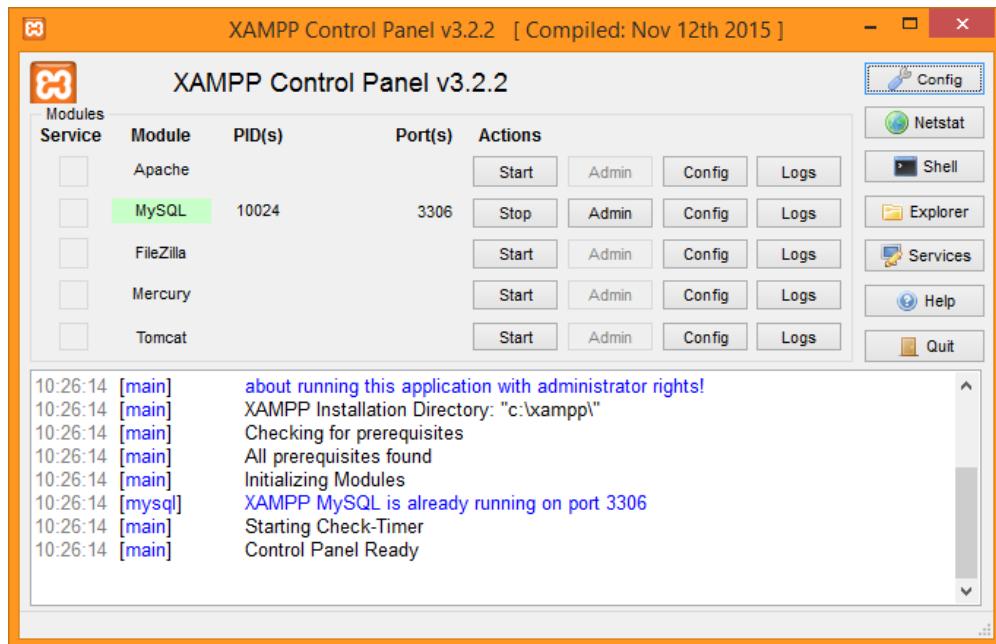
Figura 4 - MySQL Workbench 6.3.



Fonte: autoria própria.

Para acesso a esses dados armazenados localmente, além de possíveis inserções de novos pacientes, sessões e alterações em cadastros já existentes foi utilizado o servidor XAMPP (APACHE FRIENDS, EUA). O XAMPP é um pacote com os principais servidores de código livre do mercado (isto é, gratuitos para utilização), incluindo o Banco de Dados MySQL, que foi utilizado nesse sistema (APACHE FRIENDS, 2017). Sua vantagem é que não necessita de instalação bastando apenas, para sua execução, iniciar o servidor desejado. A Figura 5 ilustra sua interface gráfica.

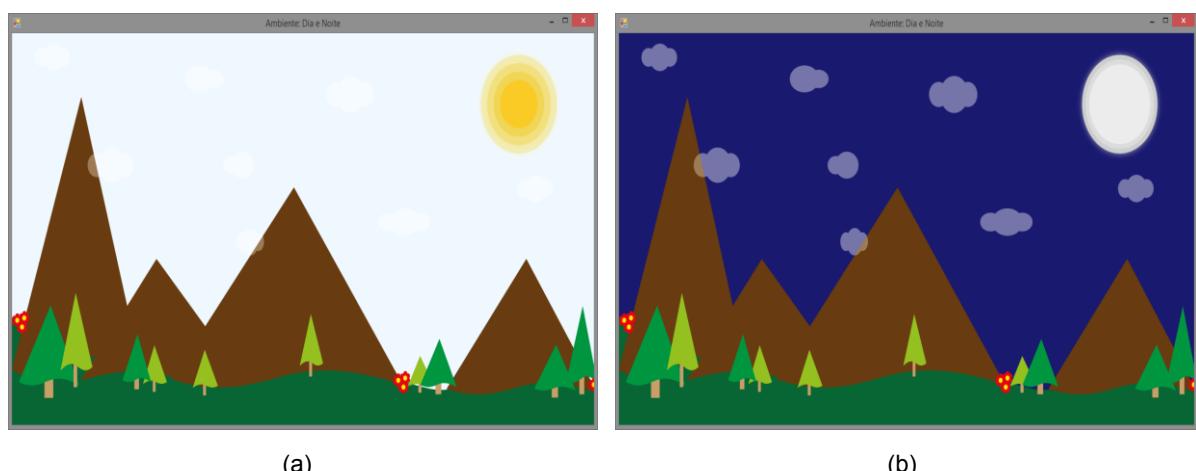
Figura 5 - Servidor XAMPP.



Fonte: autoria própria.

Por fim, na fase de implementação dos ambientes de interação que compõem o sistema de *biofeedback*, utilizou-se a framework de código aberto MonoGame 3.6 (MONOGAME, 2017). Este recurso foi desenvolvido especialmente para a produção de ambientes virtuais, especialmente para jogos. As imagens utilizadas em todo o sistema foram de desenvolvimento próprio. As Figuras 6a e 6b, apresentam um exemplo de alteração de ambiente virtual por tempo de processamento decorrido, desenvolvida com o MonoGame:

Figura 6 - (a) Ambiente dia e noite: início de execução. (b) Ambiente dia e noite: fim de execução.



Fonte: autoria própria.

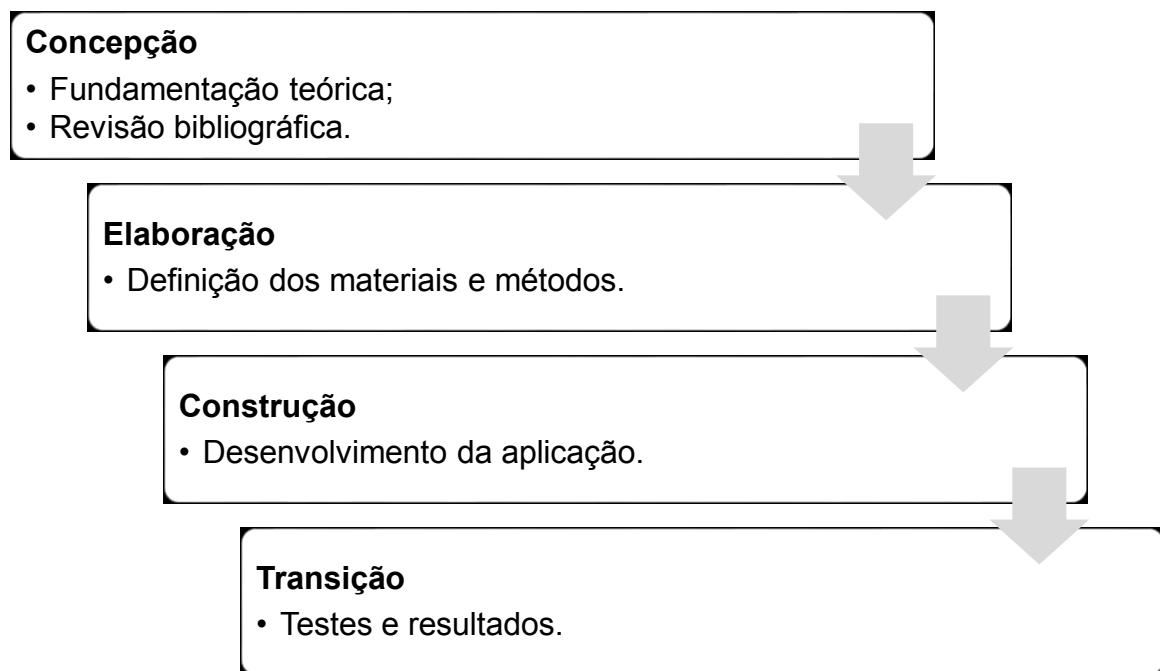
4.4. PROCESSO PARA DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE DE BIOFEEDBACK

A ferramenta utilizada para o desenvolvimento do sistema foi baseada na *Rational Unified Process* (RUP), que é um processo de engenharia de *software* que fornece uma abordagem disciplinada para assegurar a produção de *software* dentro de seus requisitos (KRUCHTEN, 2004).

Com o objetivo de atenuar possíveis falhas e tornar mais eficiente o ciclo de vida de desenvolvimento de um *software*, a RUP é baseada no conceito de “melhores práticas” e tem como principal característica um desenvolvimento interativo e incremental. É um processo preferencialmente aplicável a grandes equipes de desenvolvimento e a grandes projetos. Porém, o fato de ser adaptável torna possível alterações para projetos de qualquer escala (KROLL; KRUCHTEN, 2003).

O RUP divide o ciclo de vida de desenvolvimento de um *software* em quatro grandes fases: concepção, elaboração, construção e transição. Cada uma dessas fases está detalhada na Figura 7.

Figura 7 - Aplicação do processo RUP no sistema desenvolvido.



A primeira fase do ciclo de vida de desenvolvimento de um *software* tem como objetivo principal a definição do escopo do projeto. Sendo assim, nesta fase houve uma discussão sobre o projeto a fim de que exista um levantamento dos requisitos para uma aplicação de *biofeedback*. Nesta fase foi necessário aprofundar os conhecimentos nas áreas de psicologia e engenharia com enfoque em terapias cognitivo comportamental e captação de sinais biológicos. Assim, ao final dessa etapa houve uma elaboração do plano de projeto, o diagrama de casos de uso inicial e o glossário do projeto.

No que diz respeito à fase de elaboração (Figura 7), a consolidação da arquitetura do sistema é o objetivo principal dessa fase. É a fase mais crítica, pois é quando acontece a definição total de como será o *software* para que o projeto comece a ser desenvolvido. Ao final dessa fase foi criado a documentação da arquitetura do sistema. Nesta fase utilizou-se o Astah Community, *software* gratuito para modelagem UML, para a elaboração de requisitos funcionais, requisitos não-funcionais, diagrama de casos de uso, diagrama de classes e diagramas de atividades da aplicação, os quais são apresentados em outra seção deste capítulo.

A fase de construção (Figura 7) é a maior etapa, onde o sistema é desenvolvido até que todos os requisitos anteriormente especificados sejam atendidos. Para isso, utilizou-se as ferramentas apresentadas anteriormente e os métodos construídos na fase de elaboração. Ao final foi gerada uma versão do *software* para os primeiros testes, juntamente com o *hardware*, além da documentação para uso do sistema, composta pelo manual do usuário e as descrições da atual versão.

Por fim, na fase de transição o sistema é avaliado através de testes dos requisitos funcionais e não-funcionais estipulados anteriormente. Além disso foi realizado a validação do mesmo para os usuários finais: terapeuta e paciente, para análise dos resultados e da eficácia do sistema em realizar as tarefas que são propostas. Caso seja necessário, ainda foram feitas modificações nesta etapa final.

4.5. ARQUITETURA DO SISTEMA

Será apresentada nos próximos tópicos deste capítulo a arquitetura e as especificações determinadas para o sistema, de acordo com o conteúdo apresentado na etapa de elaboração do *software*.

Para tal, foi utilizada a Linguagem Unificada de Modelagem ou *Unified Modeling Language* (UML), por se tratar da técnica de engenharia de *software* bem conhecida e usual para modelagem de diagramas. Ela visa a especificação e descrição do sistema por meio da documentação detalhada (BOOCH et al., 2006).

A linguagem UML proporciona vários métodos para expressar todos os aspectos importantes de um sistema (PRESSMAN, 2011). Nessa perspectiva, são apresentados os requisitos funcionais e não funcionais do sistema, além dos diagramas de caso de uso, de classes e de atividades. Para documentar minuciosamente as funções do sistema e como deve ser o uso do mesmo.

4.5.1. Requisitos funcionais

Na primeira etapa do desenvolvimento do sistema foi realizado um levantamento dos principais requisitos da aplicação a serem atendidos. Esta fase teve como objetivo fazer uma análise sobre cada funcionalidade básica, para determinar os requisitos funcionais. Isto representa o que o *software* deve fazer, em termos de tarefas e serviços (VAZQUEZ; SIMÕES, 2016).

Requisitos funcionais do sistema variam de requisitos gerais, que compreendem o que o sistema deve fazer, até requisitos específicos, que refletem os sistemas e as formas de trabalho detalhadas. Trata-se de coletar dados indispensáveis, requisições necessárias para que o usuário consiga solucionar problemas e alcançar seus objetivos (SOMMERVILLE, 2011).

A fim de oferecer uma visão ampla do sistema, está apresentado na Tabela 10 os requisitos funcionais gerais, detalhando as possíveis interações humano computador, ou seja, a resposta do sistema de acordo com a atividade realizada pelo usuário.

Tabela 10 - Requisitos funcionais do sistema.

Requisito funcional	Descrição
RF 1	Cadastrar pacientes
RF 2	Alterar cadastro de pacientes
RF 3	Gerar relatórios de pacientes
RF 4	Iniciar sessão de <i>biofeedback</i>
RF 5	Escolher o ambiente virtual para a sessão
RF 6	Determinar os parâmetros da sessão
RF 7	Calcular dados do sinal captado durante a sessão
RF 8	Armazenar a sessão

Fonte: autoria própria.

4.5.2. Requisitos não funcionais

Os requisitos não funcionais (ou de qualidade) definem características e limitações do sistema todo ou parte dele. Exemplos desses atributos são o tempo de resposta do *software* a uma consulta do usuário ou a compreensão do código do programa (SOMMERVILLE, 2011), por exemplo.

Comumente, os requisitos não funcionais são de teor mais crítico em relação aos requisitos funcionais, pois a averiguação realizada para saber se o sistema atende ou não tal requisito é mais complexa. É analisada partes do desenvolvimento do *software* como performance, custo, confiabilidade, manutenibilidade, portabilidade, entre outros (CHUNG et al., 1999).

Na Tabela 11 está apresentado os requisitos não funcionais, contendo informações sobre os atributos de qualidade que o sistema deve ter de acordo com cada funcionalidade. Baseados em (ISO, 2003) e em (SOMMERVILLE, 2011).

Tabela 11 - Requisitos não funcionais do sistema.

Requisito não funcional	Categoria	Descrição
RNF 1	Desempenho	Comportamento em relação ao tempo: Fornecer tempos de resposta e de processamento, apropriados, quando o <i>software</i> executa suas funções, sob condições estabelecidas.
RNF 2	Desempenho	Utilização de Recursos: Usar tipos e quantidades apropriados de recursos, quando o <i>software</i> executa suas funções sob condições estabelecidas.
RNF 3	Desempenho	Acurácia: Prover com grau de precisão necessário, resultados ou efeitos corretos ou conforme acordados.
RNF 4	Interoperabilidade	Interoperabilidade: Capacidade de interagir com um ou mais sistemas especificados
RNF 5	Usabilidade	Inteligibilidade: Possibilitar ao usuário compreender se o <i>software</i> é apropriado e como ele pode ser usado para tarefas e condições de uso específicas.
RNF 6	Usabilidade	Apreensibilidade: Possibilitar ao usuário aprender facilmente a usar a aplicação.
RNF 7	Usabilidade	Operacionalidade: Possibilitar ao usuário operá-lo e controlá-lo
RNF 8	Usabilidade	Atratividade: Ser atraente ao usuário
RNF 9	Manutenibilidade	Analisabilidade: Permitir o diagnóstico de deficiência ou causa de falhas no <i>software</i> , ou a identificação de partes a serem modificadas.
RNF 10	Manutenibilidade	Modificabilidade: Permitir que uma modificação especificada seja implementada.
RNF 11	Manutenibilidade	Estabilidade: Evitar efeitos inesperados decorrentes de modificações no <i>software</i> .

RNF 12	Manutenibilidade	Testabilidade: Permitir que o <i>software</i> , quando modificado, seja validado.
RNF 13	Compatibilidade	Capacidade de ser instalado: Ser instalado em um ambiente especificado.
RNF 14	Confiabilidade	Tolerância a falhas: Manter um nível de desempenho especificado em caso de falha
RNF 15	Confiabilidade	Recuperabilidade: Restabelecer o nível de desempenho e recuperar dados armazenados em banco de dados
RNF 16	Legalidade	Legalidade: Projeto aprovado no conselho de ética

Fonte: autoria própria.

4.5.3. Diagrama de casos de uso

O diagrama de casos de uso está apresentado no Apêndice A, onde são identificadas as interações necessárias no sistema, selecionadas durante o levantamento de requisitos funcionais.

Basicamente, um caso de uso identifica os atores envolvidos em uma interação e dá nome ao tipo de interação. Essa é, então, suplementada por informações complementares que detalham a interação com o sistema. A informação adicional pode ser por descrição textual ou por modelos gráficos (SOMMERVILLE, 2011).

Os diagramas de caso de uso ajudam a determinar a funcionalidade e as características do *software* sob o ponto de vista do usuário (PRESSMAN, 2011). O Apêndice A, apresenta o diagrama de casos de uso do sistema desenvolvido sob tal ótica, onde o usuário do sistema computacional é o ator e o caso de uso (ações) são representados por elipses; e as interações entre os atores e os casos de uso são representadas por uma linha contínua.

4.5.4. Diagrama de classes

O Diagrama de classes, representa as interações estáticas e as classes envolvidas no sistema, permite visualizar os dados que serão armazenados e manipulados pelo sistema, está apresentado no Apêndice B.

Os diagramas de classe são utilizados no desenvolvimento de um modelo de sistema orientado a objetos, para mostrar as diversas classes de um sistema e como elas interagem entre si e qual a encargo de cada uma na realização das operações solicitadas (SOMMERVILLE, 2011).

O diagrama de classes fornece uma visão estática e estrutural do sistema (PRESSMAN, 2011). Onde cada classe define todos os atributos e os métodos de um conjunto de objetos. Visando ilustrar esse processo é apresentado no Apêndice B o diagrama de classes do sistema.

4.5.5. Diagrama de atividades

O diagrama de atividades, representado no Apêndice C, apresenta a dinâmica das operações e interações entre os atores e o sistema. Sendo composto por atores, objetos e mensagens. Este diagrama apresenta as interações possíveis para a realização de qualquer atividade.

O diagrama de atividades mostra o fluxo de trabalho que ocorre no *software* de acordo com cada ação executada pelo usuário. O mesmo detalha o comportamento dinâmico de um sistema ou parte dele por meio do fluxo de controle entre ações que o sistema executa. Ele é similar a um fluxograma capaz de apresentar fluxos concorrentes (PRESSMAN, 2011).

Os diagramas de atividades são destinados a mostrar as atividades que compõem um processo de sistema e o fluxo de controle de uma atividade para a outra. O início de um processo é indicado por um círculo preenchido; o fim, por um círculo preenchido dentro de outro círculo. Os retângulos representam atividades, ou seja, os sub processos específicos que devem ser realizados (SOMMERVILLE, 2011). O Apêndice C apresenta o diagrama de atividades do sistema.

4.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados os principais recursos de *hardware* e *software* empregados para construir o sistema de *biofeedback* propostos nesta pesquisa. Por se usar um *hardware* próprio e adequado as atividades propostas, a maior parte do trabalho de engenharia foi concentrada em um modelo de *software* que pudesse atender as demandas de um sistema de *biofeedback*. Foram traçados requisitos funcionais e não funcionais coerentes com a demanda estudada na literatura científica. A partir destes requisitos, modelou-se o comportamento do sistema de *software* para tentar garantir que um tratamento adequado de *biofeedback* fosse possível e que as limitações tecnológicas fossem as menores possíveis.

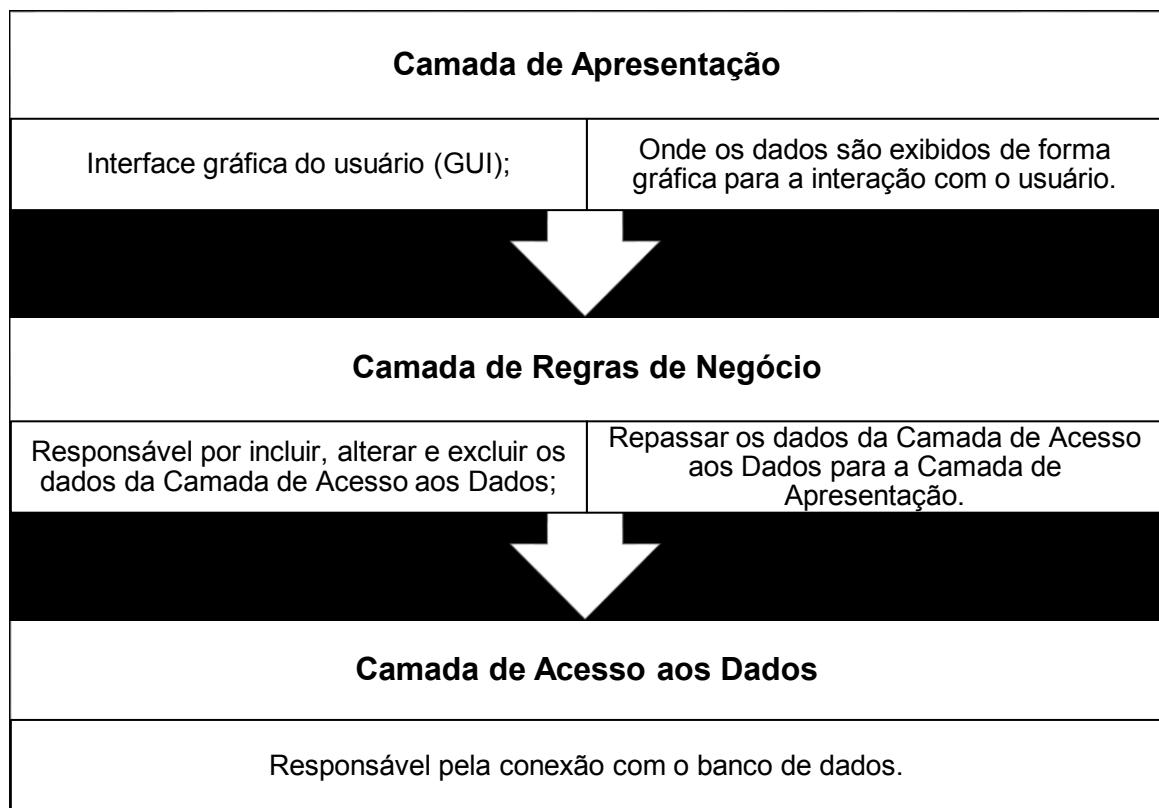
CAPÍTULO 5

SISTEMA COMPUTACIONAL INTERATIVO POR MEIO DE AQUISIÇÃO DE SINAIS BIOLÓGICOS

5.1. INTERFACES GRÁFICAS DO USUÁRIO

O sistema desenvolvido está apresentado na Figura 8, dividido em 3 camadas. Essa representação foi feita para promover a compreensão do mesmo, e também, facilitar alguma manutenção ou melhoria futura. Este capítulo propõe-se apresentar os detalhes da Camada de Apresentação do sistema e das interfaces gráficas do usuário (GUI - Graphical User Interface).

Figura 8 - Arquitetura do Sistema de *biofeedback*.



Fonte: autoria própria.

As GUI do *software* fazem parte da camada de apresentação do sistema, sendo essa a única parte que o usuário tem acesso direto. As GUIs consistem em modelos de interface criados para atender o usuário final, que permitem a interação do mesmo com os dispositivos digitais e as outras camadas do sistema por meio de elementos gráficos.

Segundo (GALITZ, 2007), o design adequado da interface é criado através de uma série de mecanismos de entradas e saídas bem projetados, que satisfaçam as necessidades e limitações do usuário da maneira mais efetiva possível. O autor ainda afirma que a melhor interface é aquela que não é notada e que permite ao usuário se concentrar nas informações e na tarefa que devem ser realizadas, e não nos mecanismos utilizados para esse fim.

Para tal, foi aplicado as técnicas de Design Centrado no Usuário (DCU), que surgiram do estudo das Interfaces Humano Computador (IHC). Prezando pela satisfação do usuário, o DCU consiste em uma metodologia de projeto de *software* voltada para desenvolvedores e projetistas, focada na criação de aplicativos que atendam às necessidades de seus usuários (LOWDERMILK, 2013).

Para isso, uma GUI deve ser intuitiva, de projeto minimalista a fim de sanar as necessidades do usuário final sem gerar dificuldades ou duplas interpretações. Usar componentes GUI é uma forma de fazer com que o usuário se familiarize com um aplicativo, para que possa aprendê-lo rapidamente e utiliza-lo com produtividade.

As interfaces gráficas do sistema proposto foram desenvolvidas com foco em redução de possibilidades de erros, projeto limpo e informativo, constantemente auxiliando o usuário através de mensagens, para seguir os passos corretos para bom uso. Visando a facilidade de utilização para diferentes tipos de usuários, capaz de ser operado tanto por pessoas com vasta experiência em interação com sistemas como para leigos.

A fim de desenvolver um sistema completo, que além de realizar a sessões de *biofeedback*, também é apropriado para armazenar informações para análises futuras da evolução do paciente. O *software* foi dividido em três principais módulos, sendo eles: paciente, relatório e sessões. Todos os componentes do sistema, suas ferramentas e o modo de uso adequado estão detalhados a seguir.

5.2. INTERFACE DE CONEXÃO

Assim que o sistema é iniciado, a primeira operação a ser realizada instantaneamente pelo mesmo é o teste de conexão com o *hardware*. Esse processo de reconhecimento demora alguns segundos e verifica se o equipamento está conectado na porta USB do computador.

Se o equipamento estiver conectado, o sistema irá iniciar imediatamente, sendo apresentado a interface principal (Figura 10). Caso o equipamento não esteja conectado, como aparece na Figura 9, caberá ao usuário optar entre as opções apresentadas: “Iniciar sem o *hardware*” ou “Fechar”.

Quando o sistema é iniciado sem o *hardware* conectado ao computador, não é possível realizar sessões. Sendo assim, só será possível realizar as atividades básicas referentes aos pacientes (consulta de paciente, alteração de cadastro, inserção de novo cadastro) e referente aos relatórios (consulta de relatórios).

Figura 9 - Interface de Conexão.



Fonte: autoria própria.

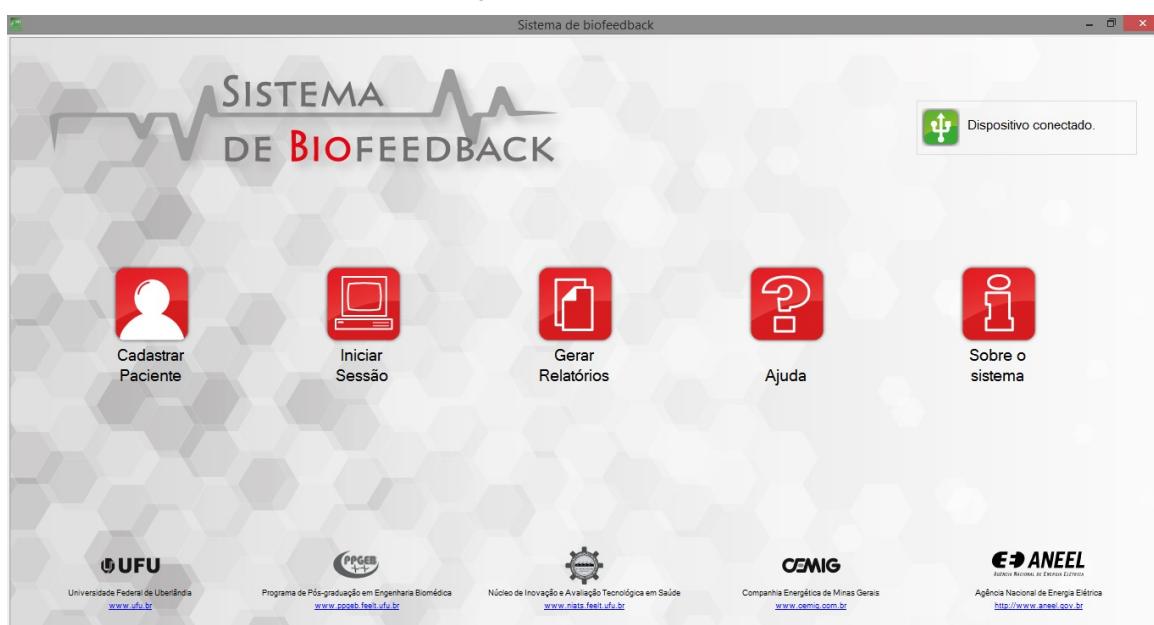
5.3. INTERFACE PRINCIPAL

A Interface Principal apresentada na Figura 10, oferece as informações básicas para o início da interação do usuário, é nela que se encontra as principais funções para aprender a navegar pelo sistema. A mesma foi projetada com objetivo de evitar a sobrecarga de informações para o usuário, seguindo as técnicas de Design Centrado no Usuário (DCU).

Sendo assim, são apresentados apenas 5 botões no centro da tela de interface principal, com imagens autoexplicativas e legendas, para realizar o acesso a cada módulo do sistema. O usuário poderá a qualquer momento retornar de um módulo do sistema para a Interface Principal e realizar uma nova tarefa.

Há também no canto superior direito da tela uma caixa com o status do *hardware*, que apresenta as seguintes informações: “Dispositivo não conectado” ou “Dispositivo conectado: USB 1208F” acompanhada de um símbolo de conexão, que altera a cor: verde quando se encontra conectado ou vermelho quando o equipamento está desconectado. Assim o usuário poderá saber a qualquer momento se a conexão do *software* com o *hardware* está funcionando de acordo com o esperado.

Figura 10 - Interface Principal



Fonte: autoria própria.

5.4. CADASTRAR PACIENTE

Para acessar a Interface de Cadastrar Pacientes, é necessário clicar no botão Pacientes exibido na Interface Principal. Nesta tela, é possível cadastrar ou atualizar os dados dos pacientes, essa funcionalidade foi desenvolvida visando o armazenamento das informações a longo prazo.

Assim que é acessada, é possível notar que grande parte do formulário para a realização do cadastro está desativada, assim como o botão “Salvar” na parte inferior da tela também está desativado, ou seja, estão em cinza e sem possibilidade de interação (clicar ou escrever), como é apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Interface de Cadastro de Pacientes.

Fonte: autoria própria.

Essa limitação foi feita propositalmente, para minimizar as chances de erros na hora de cadastrar um novo paciente, pois dessa forma o usuário precisa obrigatoriamente consultar primeiro o CPF de quem ele deseja cadastrar, antes de qualquer outra ação. Somente após essa consulta ao banco de dados que o usuário poderá atualizar ou inserir um cadastro de paciente.

Isso é feito para evitar cadastros duplicados, ou cadastros sem CPF, já que por se tratar de um documento único, é mediante a consulta do mesmo que o paciente e seus relatórios são localizados em qualquer módulo do sistema. A localização por CPF é mais eficiente que a localização por nome, já que podem haver homônimos cadastrados.

Após a consulta do CPF, caso o mesmo já se encontre registrado no sistema, serão carregados todos os dados do cadastro do paciente, dessa forma o usuário só precisará alterar alguma informação que esteja desatualizada, caso julgar necessário, conforme é apresentado na Figura 12 um cadastro já preenchido.

Caso contrário aparecerá uma mensagem informando que o CPF não se encontra registrado no sistema, então o usuário deverá preencher todos os dados pessoais, endereço, dados clínicos e o campo observações com alguma informação adicional que julgar pertinente, como informações sobre a finalidade do tratamento proposto ou principais queixas do paciente.

Para evitar a entrada de dados inadequados, todos os campos foram validados, ou seja, foram criadas regras que permitem certificar a qualidade e a integridade das informações que serão coletadas, ou seja, se a informação recebida contém os dados esperados para cada campo do formulário.

Figura 12 - Exemplo de consulta de cadastro de paciente.

The screenshot shows a Windows application window titled 'Pacientes'. At the top, there is a search bar with 'CPF: 111.111.111-11' and a 'Verificar Paciente' button with a magnifying glass icon. The main form is divided into sections: 'Dados Pessoais' and 'Dados Clínicos'. The 'Dados Pessoais' section contains fields for Name (Voluntário 1), Sex (Female), Civil Status (Solteiro (a)), Email (email@gmail.com), and Address (João Naves de Ávila). It also includes birthdate (01/02/1990), phone number (34) 3232-3232, education level (Mestrado), city (Uberlândia), and number (1234). The 'Dados Clínicos' section contains fields for weight (70 Kg), height (01.75 m), and blood pressure (11/07 mmHg). There are also sections for 'Informações adicionais' (with checkboxes for Alcoholism, Anxiety, Depression, Sedentary lifestyle, and Smoking) and 'Observações' (with a note: 'Dificuldades para dormir.'). At the bottom, there are 'Salvar' (Save) and 'Voltar' (Back) buttons, along with a green circular arrow icon.

Fonte: autoria própria.

5.5. INICIAR SESSÃO

A Interface Iniciar Sessão, Figura 13, trata-se de onde ocorrerá o processo de configuração da sessão a ser realizada. Para iniciar uma sessão, o paciente tem que obrigatoriamente estar cadastrado no sistema, sendo necessário consultar o seu CPF antes de qualquer outra ação, já que o restante das atividades disponíveis na Interface encontra-se desativadas e só serão ativadas após essa verificação.

Após essa consulta inicial o terapeuta deverá determinar os parâmetros da sessão, sendo eles:

- Função terapêutica:
 - Ansiedade: Trata-se de uma resposta emocional, que é produto de um estímulo que antecede um estímulo aversivo, com efeitos notáveis no comportamento (SKINNER, 1965). Para melhorar tal fator é necessário focar no relaxamento do paciente, que ocorre quando há uma diminuição no tônus muscular, da pressão arterial, da frequência cardíaca, da frequência respiratória e aumento de ondas ECG alfa.
 - Desatenção: Falta de atenção frequente em atividades, dificuldade em manter a atenção por longos períodos em determinada tarefa ou na fala de alguém, perda de foco, desorganização, dificuldade em cumprir prazos, se distraí facilmente (APA - AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION, 2014).
 - Insônia: Em que o indivíduo deseja dormir ou sente necessidade disso, mas não consegue. Podendo assumir a forma intermediária, como por exemplo despertar durante a noite, com dificuldade para voltar a dormir, forma terminal, como despertar muito cedo, com incapacidade de retornar a dormir, ou inicial com dificuldade para adormecer (APA - AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION, 2014).
 - Relaxamento Muscular: Para a reabilitação neuromuscular, podendo ser utilizado para a inibição ou atenuação da atividade de músculos espásticos (relaxamento) (SIMÓN, 1996).
 - Reforço Muscular: Utilizado para o aumento da atividade em músculos flácidos (reforço) (SIMÓN, 1996). Ideal para casos de pouca mobilidade

em determinado músculo, o que pode ocorrer devido a alguma deficiência física ou causada por acidente.

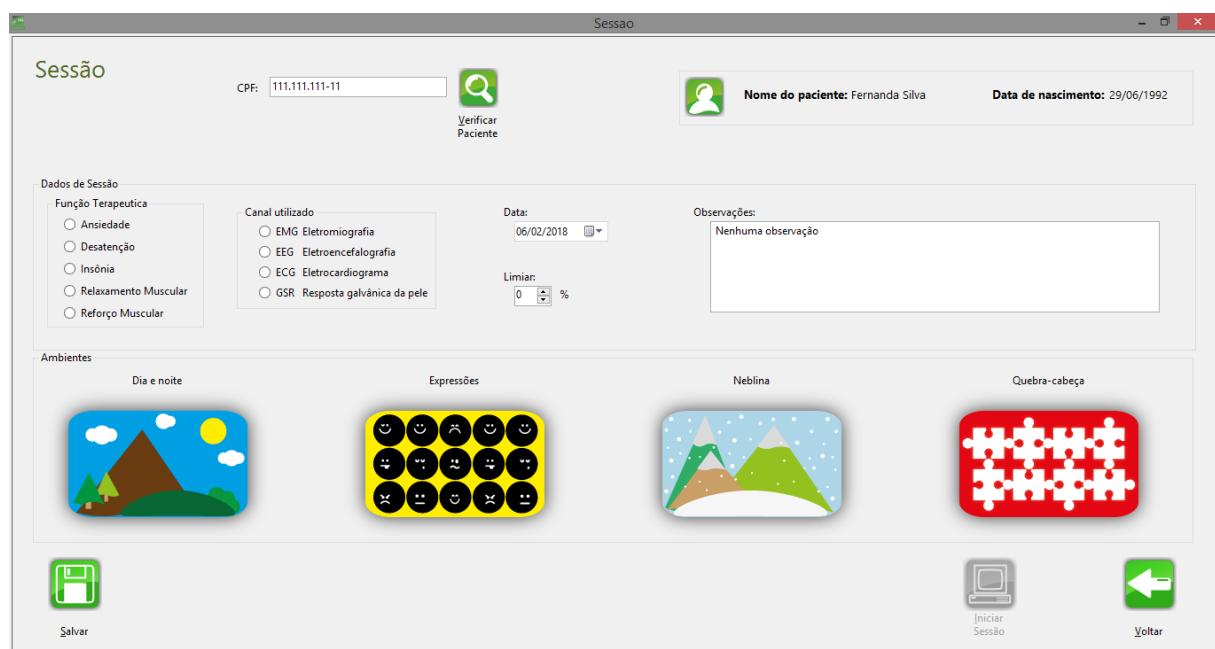
– Canal utilizado:

- Eletromiografia;
- Eletroencefalografia;
- Eletrocardiograma;
- Resposta Galvânica da Pele.

Além da data, limiar, observações sobre o estado do paciente no momento da sessão e ambiente que será utilizado. Assim que todos os critérios estiverem preenchidos o terapeuta poderá salvar a sessão para que esses dados iniciais sejam armazenados no banco de dados.

Após o armazenamento da configuração da sessão o terapeuta poderá clicar em Iniciar Sessão, que agora estará ativado, para que o paciente consiga interagir com o ambiente virtual que foi determinado. Todos os sinais coletados durante a sessão também serão armazenados no banco de dados.

Figura 13 - Interface Iniciar Sessão.

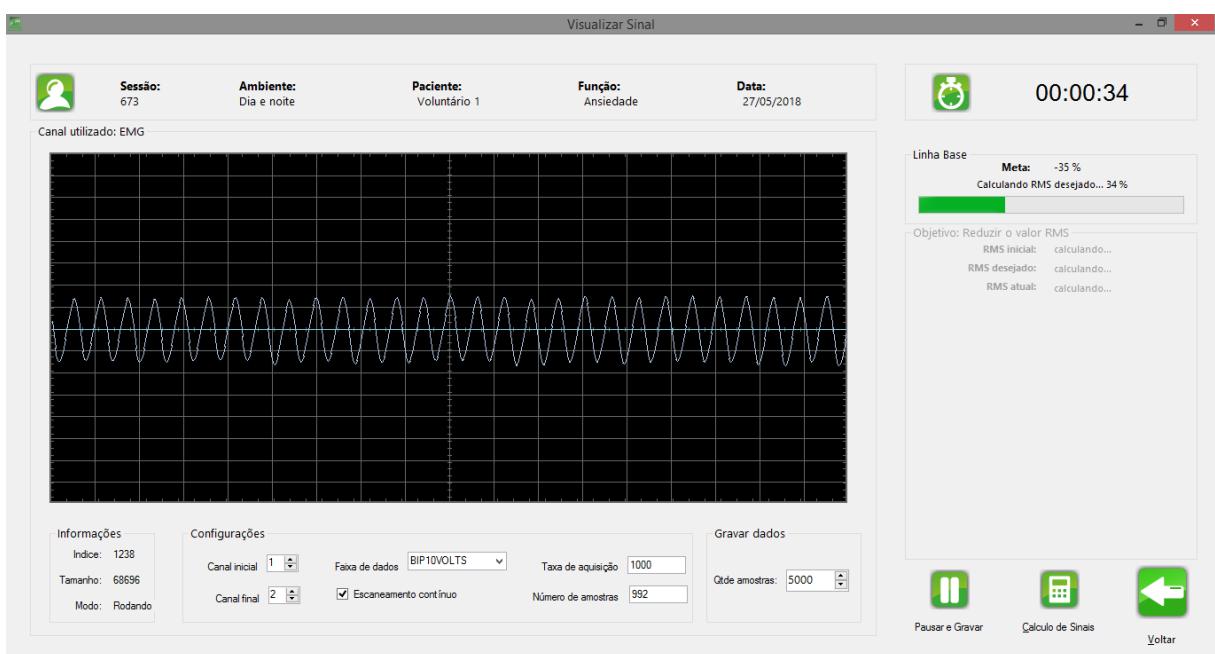


Fonte: autoria própria.

5.5.1. Terapeuta

A Interface com informações para uso exclusivo do terapeuta é iniciada assim que o mesmo clicar no botão Iniciar a Sessão. Com informações básicas da sessão, como ambiente utilizado, nome do paciente, função terapêutica a ser tratada e data. Além de informações sobre o tempo de duração da sessão, dados gráficos referentes ao sinal captado e informações e configurações do *hardware* (Figura 14).

Figura 14 - Interface Informações do Terapeuta.



Fonte: autoria própria.

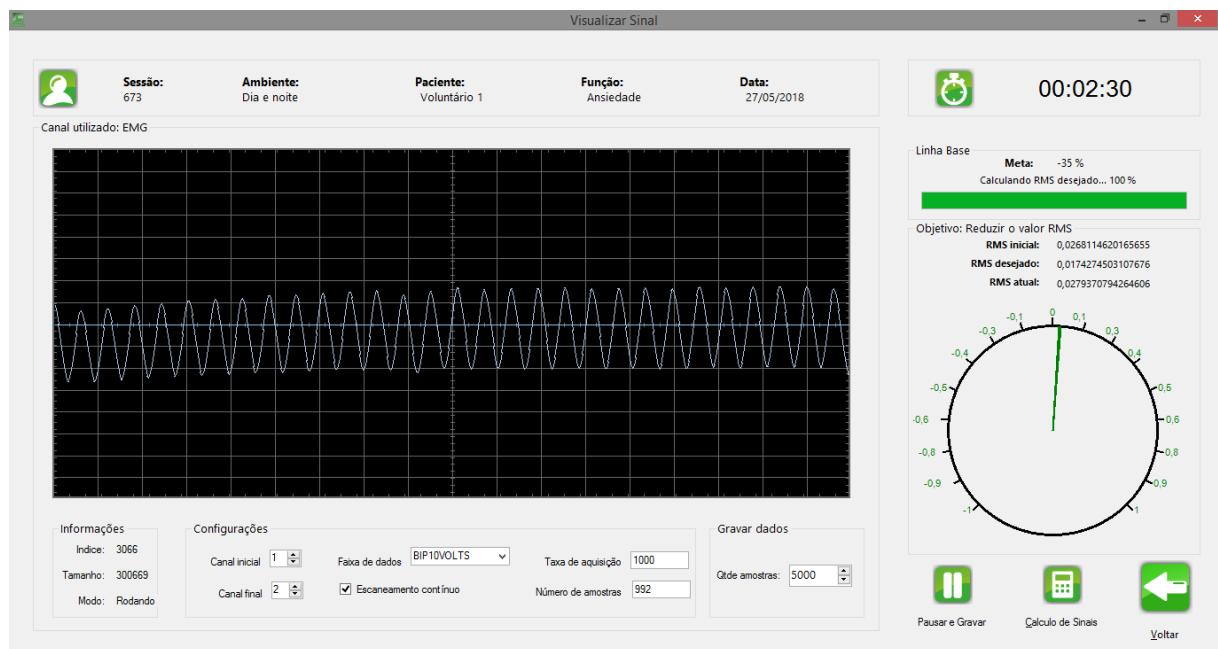
Ao clicar no botão Iniciar, a Tela para uso do paciente se abrirá, com algumas informações básicas no canto direito, como: nome do paciente, função terapêutica, data, canal utilizado e limiar a ser alcançado, além do ambiente no qual o paciente deverá interagir.

Enquanto o paciente se concentra nas alterações que ocorrem na tela com o ambiente virtual determinado anteriormente, o terapeuta faz uso da sua tela, Figura 14, onde conseguirá visualizar o sinal e o limiar que deseja alcançar para assim analisar a evolução do paciente no período da sessão, e definir qual o melhor

momento para finaliza-la. Sendo assim, o fim da sessão não é pré-determinado, ficando por conta do terapeuta definir quando o mesmo deverá ser realizado.

Durante a configuração da sessão o terapeuta já determinou o limiar que deseja alcançar, o mesmo pode ter um valor tanto positivo quanto negativo, variando de -100% até +100%. Este valor será determinado de acordo com o objetivo da sessão. Há sessões em que se espera que o valor de um determinado sinal se reduza, como por exemplo: uma sessão com sinal EMG para tratar ansiedade em um paciente. Neste exemplo espera-se que o limiar seja menor que o valor inicial, ou seja, que o paciente consiga relaxar e aliviar a tensão nos músculos.

Figura 15 - Interface Informações do Terapeuta: cálculo do limiar desejado.



Fonte: autoria própria.

Quando a sessão é iniciada, o terapeuta ainda não tem o valor exato do que será a linha base do paciente, a linha base é determinada pelo cálculo da média do valor RMS capturado dentro dos 2 minutos iniciais da sessão e mostrada no canto direito inferior, como apresenta a Figura 15.

Segundo (LUCA, DE, 1985) e (BASMAJIAN, 1976) o RMS é o valor que proporciona maiores informações em relação à amplitude do sinal eletromiográfico, por fornecer o número de unidades motoras que estão sendo ativadas naquele

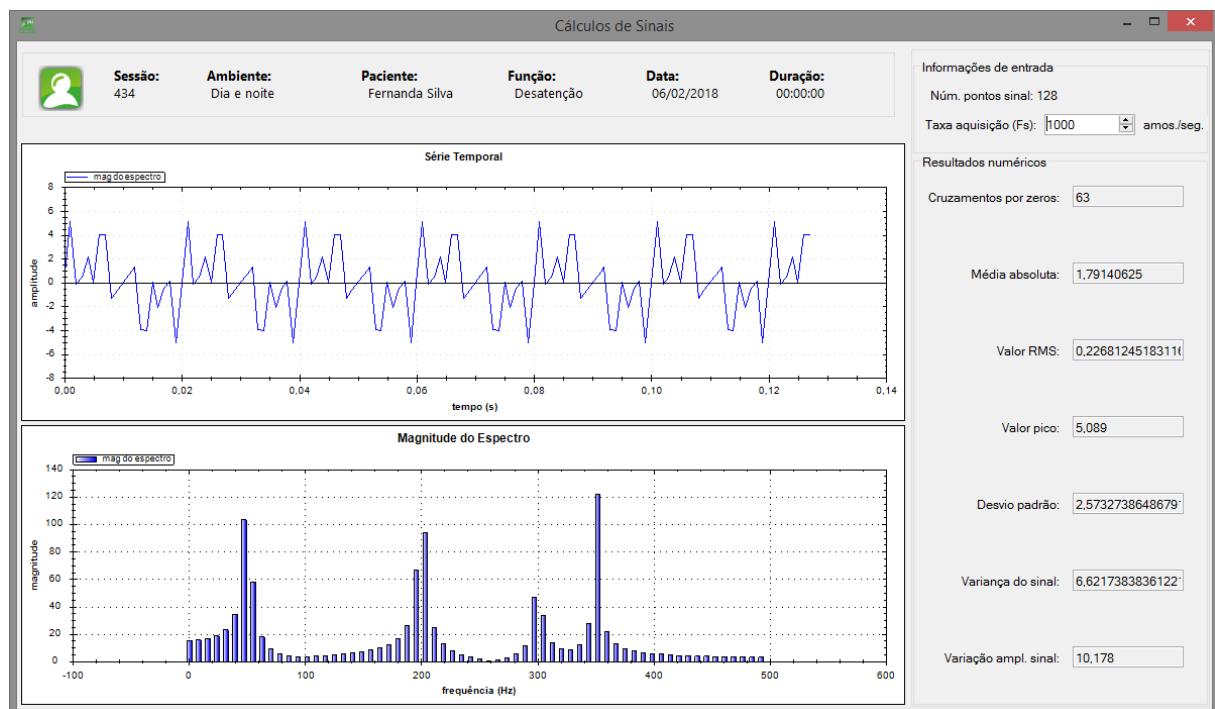
momento (recrutamento motor), além da frequência de disparo das unidades motoras e a forma dos potenciais de ação das unidades motoras (área).

A partir do resultado dessa média gerada pelo cálculo inicial somado ao percentual referente ao limiar desejado, o que poderá aumentar ou diminuir o valor final, será determinado o limiar que se deseja alcançar na sessão, neste momento o terapeuta conseguirá acompanhar a evolução do paciente para alcançar os resultados esperados.

5.5.2. Cálculos do sinal

Ao finalizar a sessão, todos os dados que estavam sendo visualizados na Interface do Terapeuta serão armazenados, e a partir desse instante o terapeuta conseguirá ter acesso aos cálculos matemáticos pelo botão localizado na parte inferior esquerda, chamado Cálculo de Sinais.

Figura 16 - Interface de cálculos do sinal.



Fonte: autoria própria.

Ao clicar neste botão, nomeado cálculo do sinal, uma nova tela se abrirá. Designada por “Interface Cálculos do sinal”, ela é apresentada na Figura 16 onde o terapeuta encontrará os cálculos estatísticos feitos com base nos dados coletados durante a sessão que foi finalizada. Todos esses valores também estarão disponíveis para posterior consulta na Interface de relatório do paciente.

No canto esquerdo superior da interface de cálculo do sinal, são apresentadas algumas informações básicas sobre a sessão realizada. E no canto direito superior estão localizadas as informações referentes ao número de pontos que foram coletados e a quantidade de amostras por segundo que foram armazenadas.

Além disso também há dois gráficos, sendo eles a representação da série temporal do sinal, ou seja, uma sequência de observações feitas durante toda a sessão. E também mostrada o espectro de magnitude do sinal captado. Nele, o usuário toma conhecimento dos componentes de frequência do sinal. Para profissionais adequadamente treinados, estes dados podem trazer informações relevantes sobre as condições do paciente que não são facilmente percebidas pelo sinal no domínio do tempo. Os principais parâmetros numéricos que são calculados são:

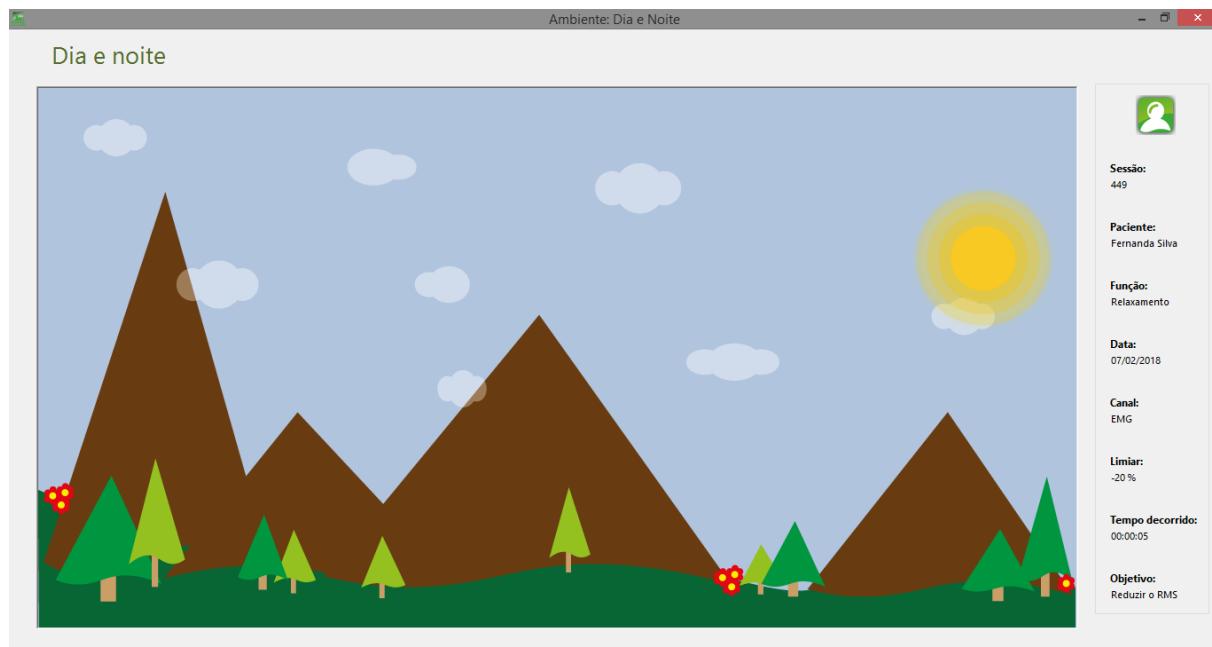
- Cruzamentos por zero: marca a quantidade de vezes que o sinal passa pelo ponto zero e pode ser empregado para dar uma ideia da periodicidade média do sinal e outros parâmetros mais técnicos (*jitter* do sinal, por exemplo).
- Média absoluta: é resultado da soma absoluta de todos os valores registrados, divididos pelo número de amostras.
- Valor RMS: a raiz do valor quadrático médio ou RMS (*root mean square*) ou valor eficaz. É uma medida estatística para indicar a magnitude do sinal que varia no tempo.
- Valor pico: é o maior valor registrado durante toda a amostra de sinal.
- Desvio padrão: é uma medida que indica a dispersão dos dados dentro de uma amostra com relação à média.
- Variância do sinal: uma medida de dispersão que mostra quanto distantes os valores estão da média.

- Variação da amplitude do sinal: é uma forma de expressar a variabilidade dos dados excluindo a influência da ordem de grandeza da variável.

5.5.3. Ambiente: Dia e noite

O primeiro ambiente disponível para a interação com o usuário é a Interface Dia e noite. A mesma é formada por uma paisagem montanhosa, com árvores, céu com poucas nuvens e o Sol ou a Lua, dependendo do estado em que se encontra: dia ou noite (Figura 17). Este ambiente foi criado visando oportunizar interação do paciente de forma lúdica, tornando o tempo de duração de sessão mais agradável, já que o mesmo focará na sua própria capacidade para conseguir o resultado esperado.

Figura 17 - Dia e noite: dentro do limiar estabelecido.

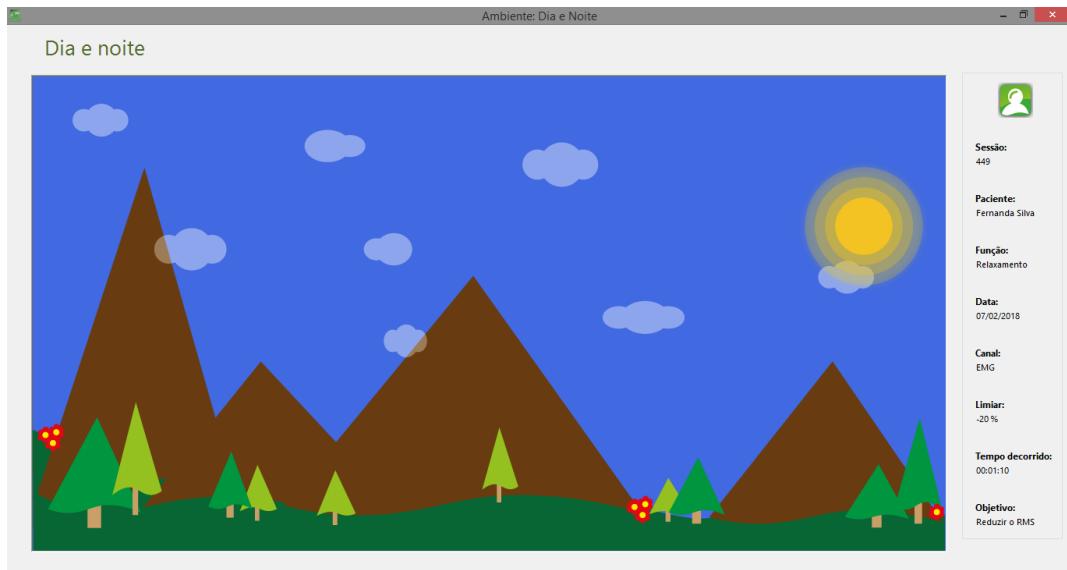


Fonte: autoria própria.

O propósito deste ambiente é que o usuário consiga manter a paisagem durante o dia, representada com o céu em tom azul claro e o “sol”. As alterações são feitas gradativamente, quando o azul do céu é trocado por tons levemente mais escuros, de maneira que o usuário consiga perceber que está “anoitecendo” quando

se afasta do limiar estabelecido, como apresenta a Figura 18 em um estágio intermediário da sessão.

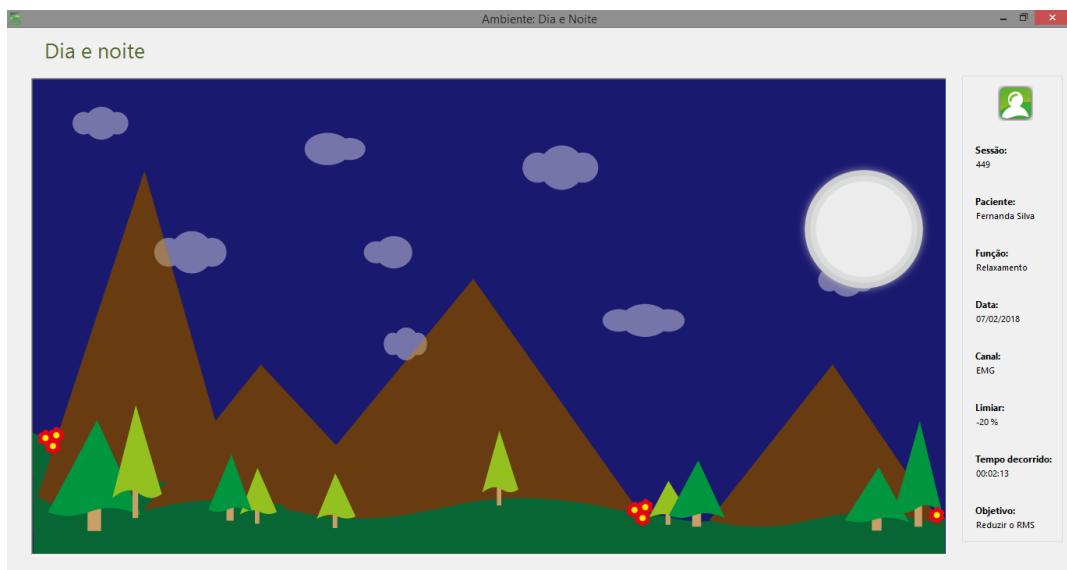
Figura 18 - Dia e noite: atingindo o limiar estabelecido.



Fonte: autoria própria.

Ou seja, a alteração do ambiente ocorre de acordo com o sinal recebido. Sendo assim, o ambiente pode continuar diurno, caso o sinal esteja próximo do limiar estabelecido ou se alterar para noturno, quando o sinal se afasta do limiar, com o céu ficando azul escuro e com o aparecimento da “lua” no lugar do “sol” (Figura 19).

Figura 19 - Dia e noite: afastando do limiar estabelecido.

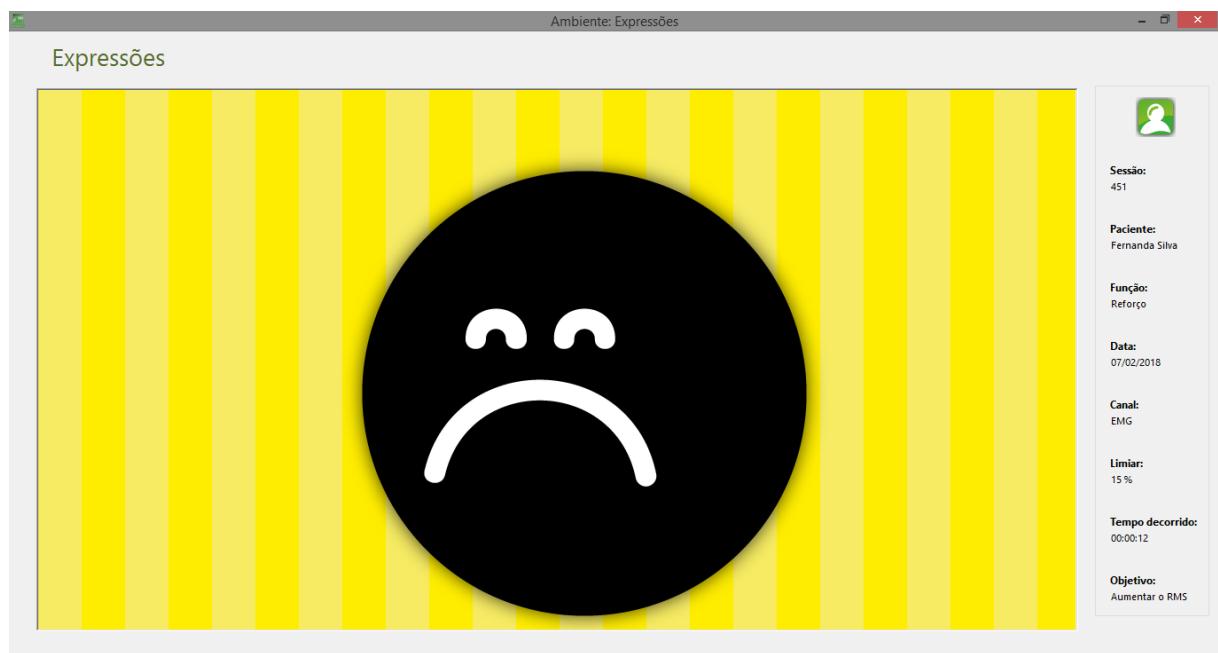


Fonte: autoria própria.

5.5.4. Ambiente: Expressões

A Interface Expressões é o segundo ambiente disponível para o uso do paciente durante uma sessão. A mesma é composta por um fundo amarelo e um avatar representado por um rosto, as alterações ocorrerão somente no avatar. Este ambiente foi desenvolvido pensando em se assemelhar as feições humanas, a fim de estimular a atenção e a comparação do estado do paciente com o próprio avatar.

Figura 20 - Expressões: tristeza: afastando do limiar estabelecido.



Fonte: autoria própria.

É possível alterar a fisionomia do avatar, para isso foram criadas três expressões distintas, sendo elas: expressão de tristeza (Figura 20); expressão de felicidade (Figura 21) e expressão de euforia (Figura 22).

Para a interação com esse ambiente o usuário deverá conseguir alterar a fisionomia do avatar de acordo com o seu sinal, limiar preestabelecido e o objetivo da sessão. Quanto mais próximo o sinal estiver do que é desejado pelo terapeuta, mais agradável ficará a fisionomia, sendo assim o ideal é manter o avatar na expressão de euforia, como demonstrado na Figura 22.

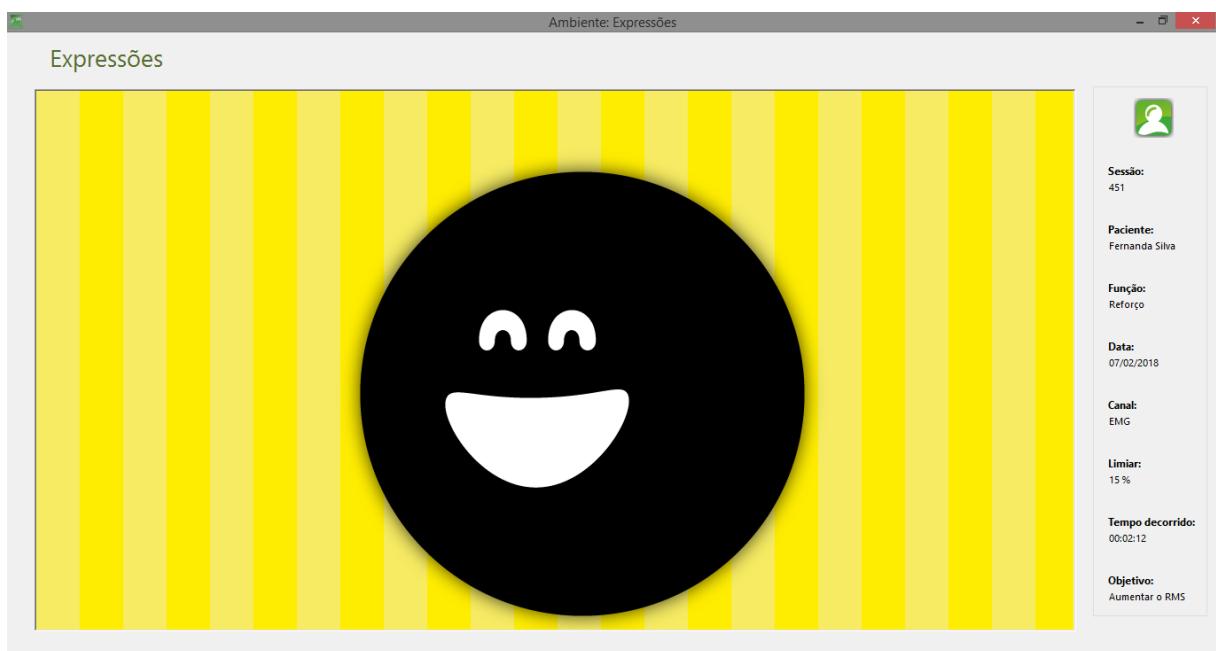
Figura 21 - Expressões: felicidade: atingindo o limiar estabelecido.



Fonte: autoria própria.

A finalidade dessas alterações de expressão facial é representar ao usuário o estado de tensão em que o mesmo se encontra, por meio da análise estatística do valor RMS do sinal que está sendo calculado pelo sistema.

Figura 22 - Expressões: euforia: dentro do limiar estabelecido.

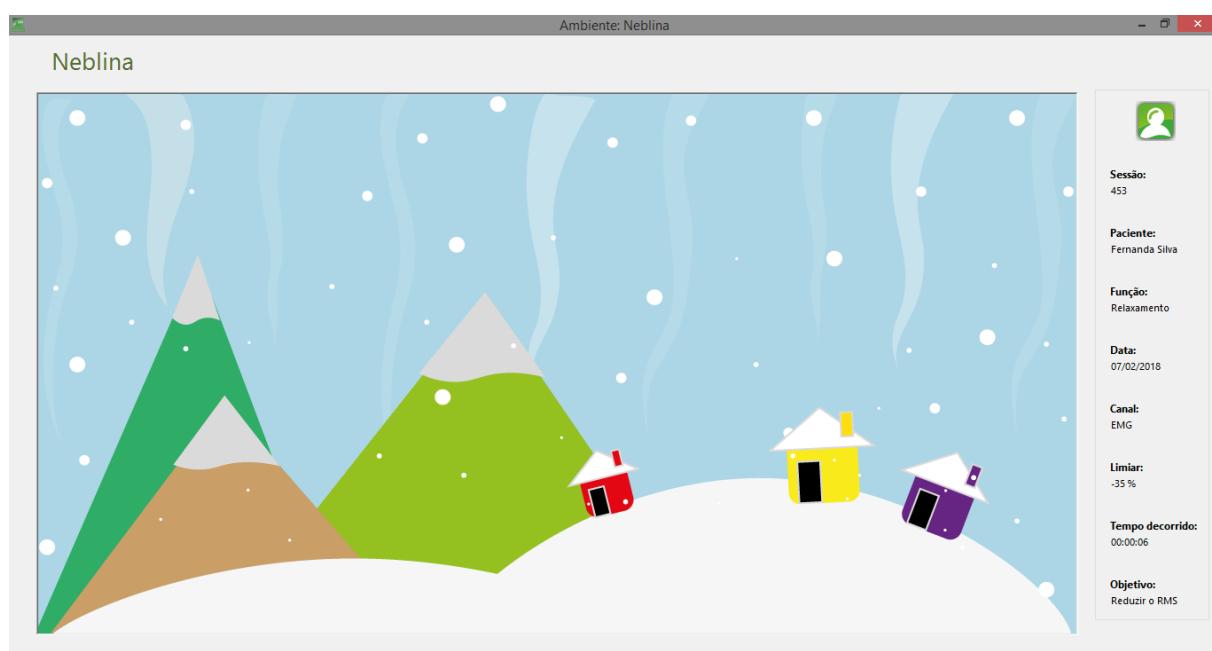


Fonte: autoria própria.

5.5.5. Ambiente: Neblina

A Interface Neblina é o terceiro ambiente disponível para a interação com o usuário. A mesma é formada por uma paisagem ártica com algumas árvores e montanhas, todo o ambiente apresentado está coberto por neve, conforme apresentado na Figura 23.

Figura 23 - Neblina: dentro do limiar estabelecido.

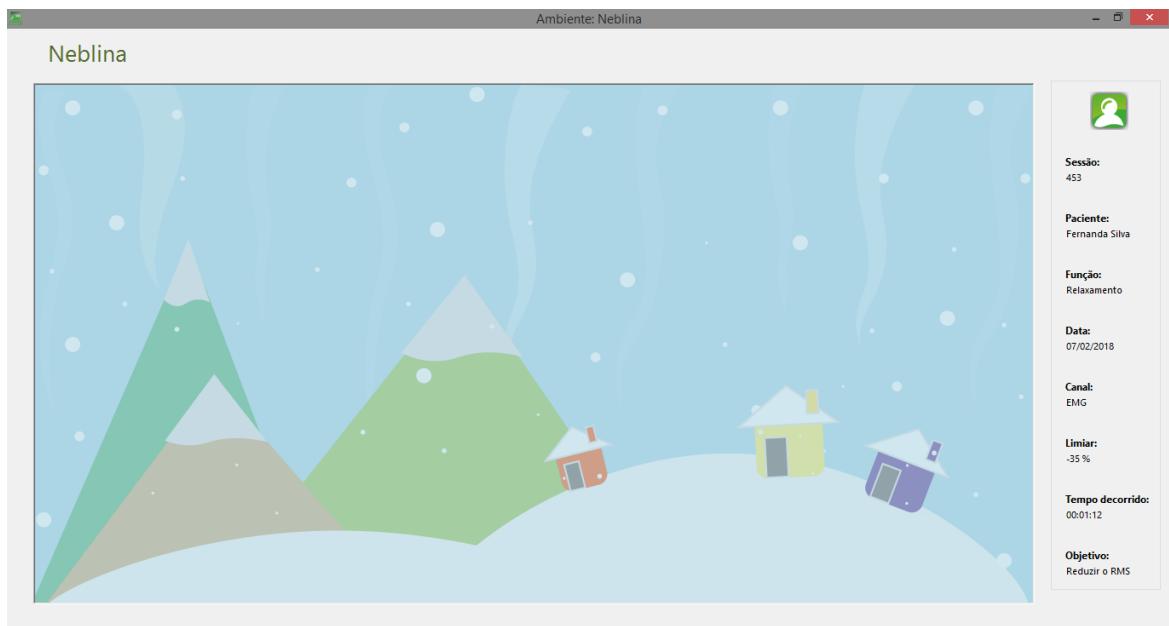


Fonte: autoria própria.

Este ambiente foi criado focando na capacidade do paciente dirigir seu interesse para uma única tarefa, assim ele será capaz de desenvolver a atenção: observar comparar e analisar as alterações vistas.

O objetivo do ambiente é sofrer alterações na medida que o sinal captado se afasta do limiar desejado e então o ambiente começará a ficar nebuloso, como apresenta a Figura 24. E quanto mais o valor RMS se afastar do valor determinado como o ideal, mais nebuloso o ambiente ficará, até chegar ao ponto da tela ficar totalmente coberta pela neblina, como na Figura 25.

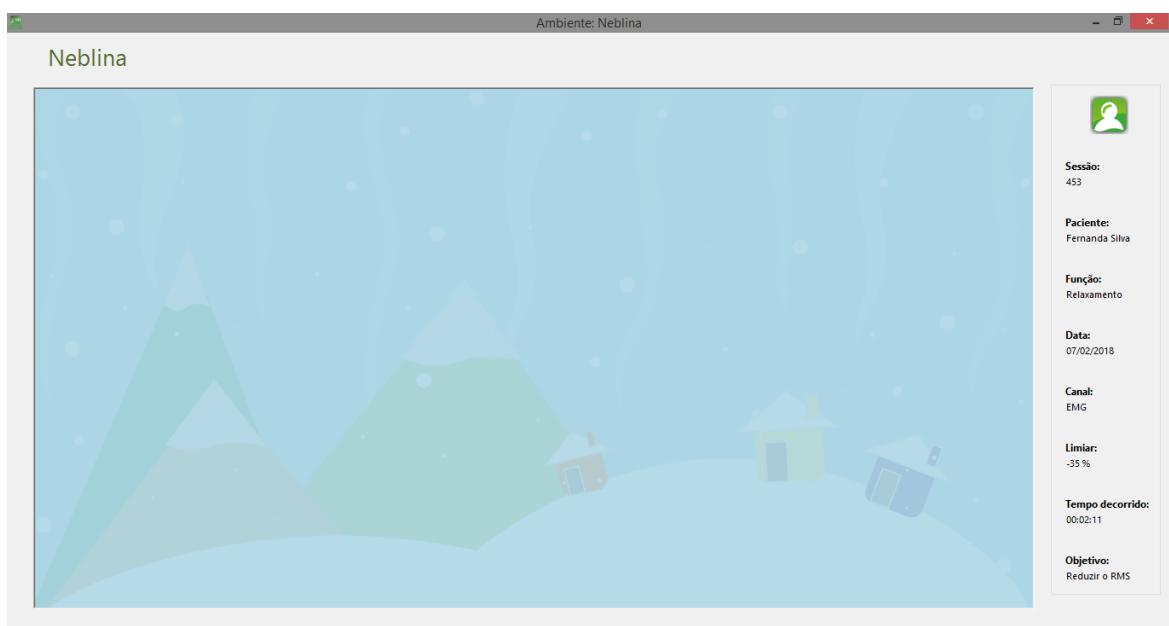
Figura 24 - Neblina: atingindo o limiar estabelecido.



Fonte: autoria própria.

Caso o valor RMS esteja de acordo com o que é esperado pelo Terapeuta, a neblina diminuirá progressivamente, até sumir por completo e o ambiente ficará sem neblina e a visualização de seus elementos voltará a ser compreensível pelo usuário, como apresentado na Figura 23.

Figura 25 - Neblina: afastando do limiar estabelecido.



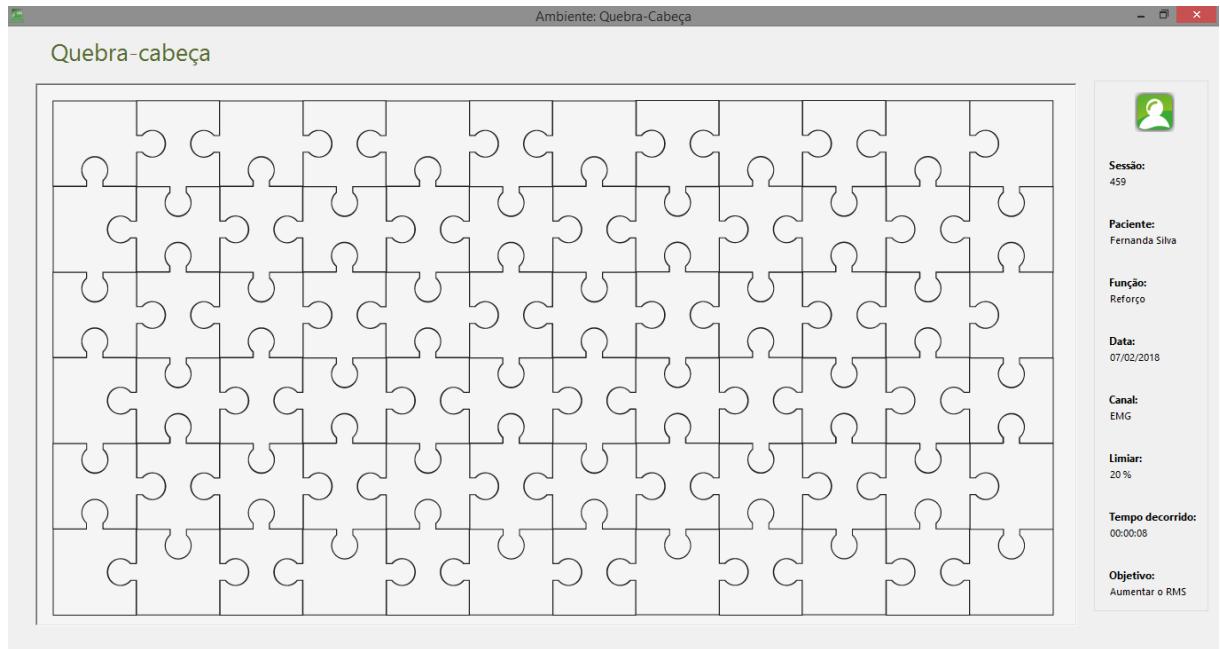
Fonte: autoria própria.

5.5.6. Ambiente: Quebra-cabeça

O quarto ambiente disponível para a interação com o usuário é a Interface Quebra-cabeça. A mesma é formada por uma tela vazia, apenas com as demarcações de onde deverá ser colocada cada peça do quebra-cabeça (Figura 26).

Este ambiente foi escolhido por se tratar de um jogo interessante para o desenvolvimento neurológico, capacidade de concentração, noção espacial e percepção visual.

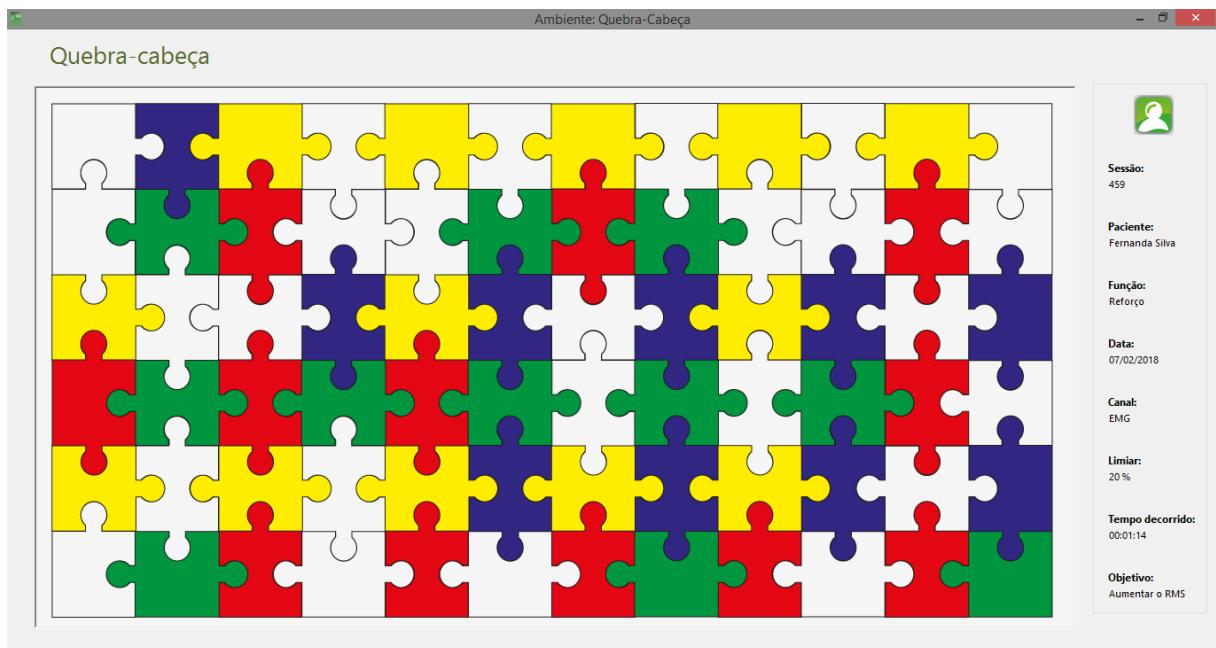
Figura 26 - Quebra-cabeça: afastando do limiar estabelecido.



Fonte: autoria própria.

Ao todo, o quebra-cabeça preenchido contém, 70 peças. A finalidade no ambiente Quebra-cabeça é preencher cada uma das marcações de onde deverão se encaixar uma dessas peças do quebra-cabeça, como apresenta a Figura 27, o mais rápido possível, até que o mesmo se complete.

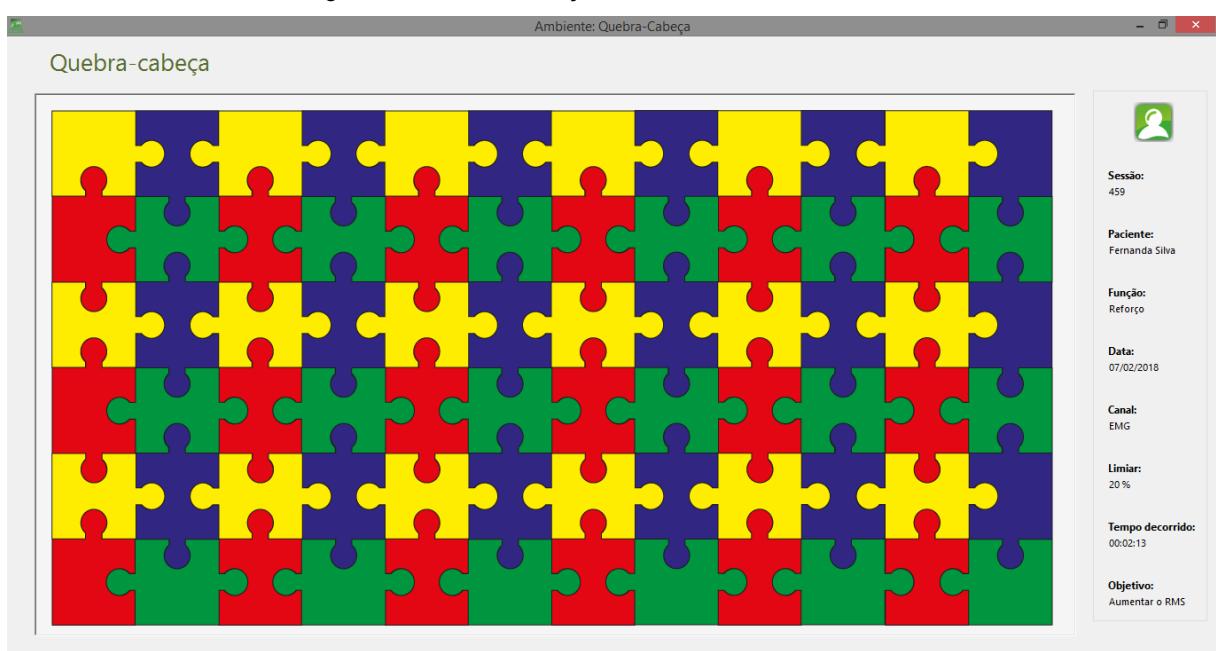
Figura 27 - Quebra-cabeça: atingindo o limiar estabelecido.



Fonte: autoria própria.

As peças vão aparecendo para montar a imagem, mais lentamente ou mais rapidamente, de acordo com a proximidade do sinal recebido ao limiar estabelecido, como apresenta a Figura 28.

Figura 28 - Quebra-cabeça: dentro do limiar estabelecido.



Fonte: autoria própria.

5.6. GERAR RELATÓRIO

Voltando a Interface Principal, teremos o botão Gerar Relatórios que dá acesso aos relatórios dos pacientes, com suas informações pessoais, clínicas e informações sobre as sessões e sinais armazenados.

Acessando a Interface Gerar Relatórios, é possível notar algumas semelhanças com a Interface de Cadastro de Pacientes: também é necessário consultar o CPF antes de qualquer outra ação. Assim, o sistema buscará as informações de determinado paciente, caso o CPF seja digitado incorretamente ou não esteja cadastrado, aparecerá uma mensagem de erro solicitando que o cadastro seja feito.

Quando ocorre sucesso na busca e o CPF é encontrado, a parte inferior da tela se habilita e aparecem as informações do paciente, divididas em duas abas, são elas:

A aba Dados do Paciente, apresentada na Figura 29, é possível visualizar todas as informações pessoais e clínicas salvas no cadastro, caso haja algo incorreto, é necessário retornar até a Interface Principal e acessar a Interface de paciente para corrigir o cadastro incorreto.

Figura 29 - Interface de Relatórios - Aba: Dados do Paciente.

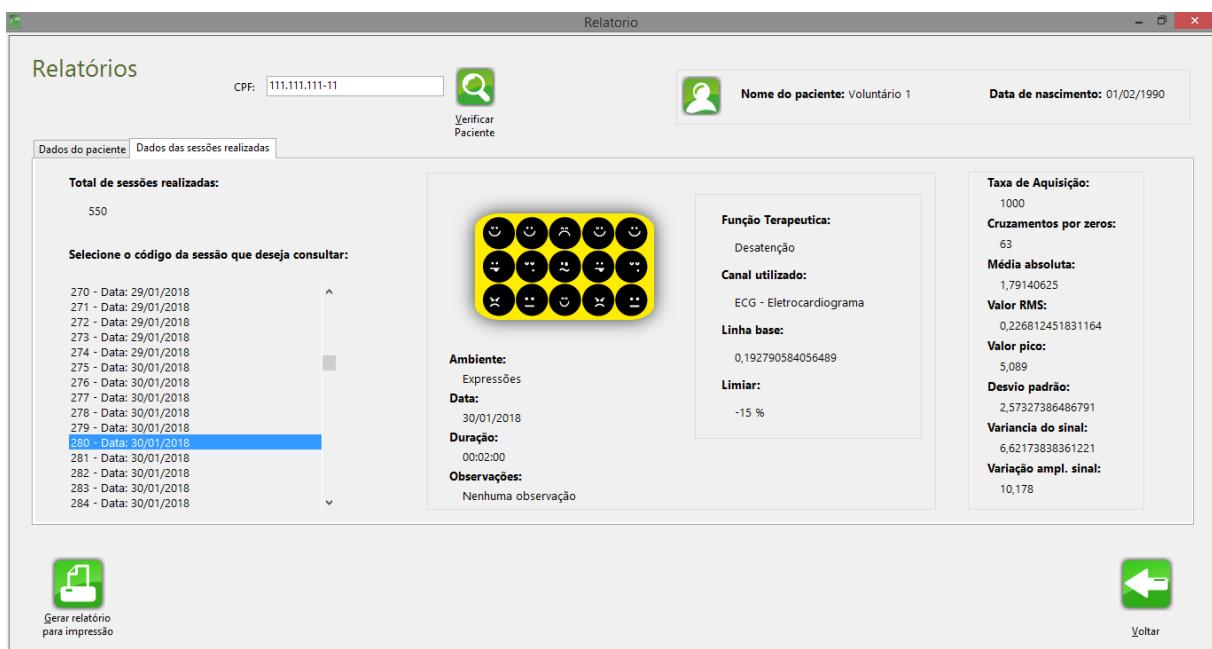
Fonte: autoria própria.

E a aba Sessões realizadas, apresentada na Figura 30, nesta aba o usuário terá uma lista onde deverá selecionar o código e a data da sessão que deseja consultar. Este código é único pois cada sessão, ao ser inicializada, gera um código subsequente ao valor do código anterior, trata-se de um número inteiro, sendo assim, os códigos de cada sessão são valores distintos e estão dispostos um a um em cada linha. E para facilitar a interação do usuário a data da sessão se encontra junto ao código, facilitando a pesquisa de determinada sessão no meio da lista.

Ao selecionar uma linha desta lista referente a sessão que deseja consultar, aparecerá ao lado as informações sobre tal sessão, sendo elas: uma imagem representando o ambiente utilizado juntamente com o nome, data, observações, função terapêutica, canal utilizado, linha base e limiar.

Além disso, a direita da tela é possível visualizar os cálculos matemáticos resultantes do sinal armazenado nessa sessão, são eles: cruzamento por zero, média absoluta, valor RMS, valor pico, desvio padrão, variância do sinal, variação da amplitude do sinal.

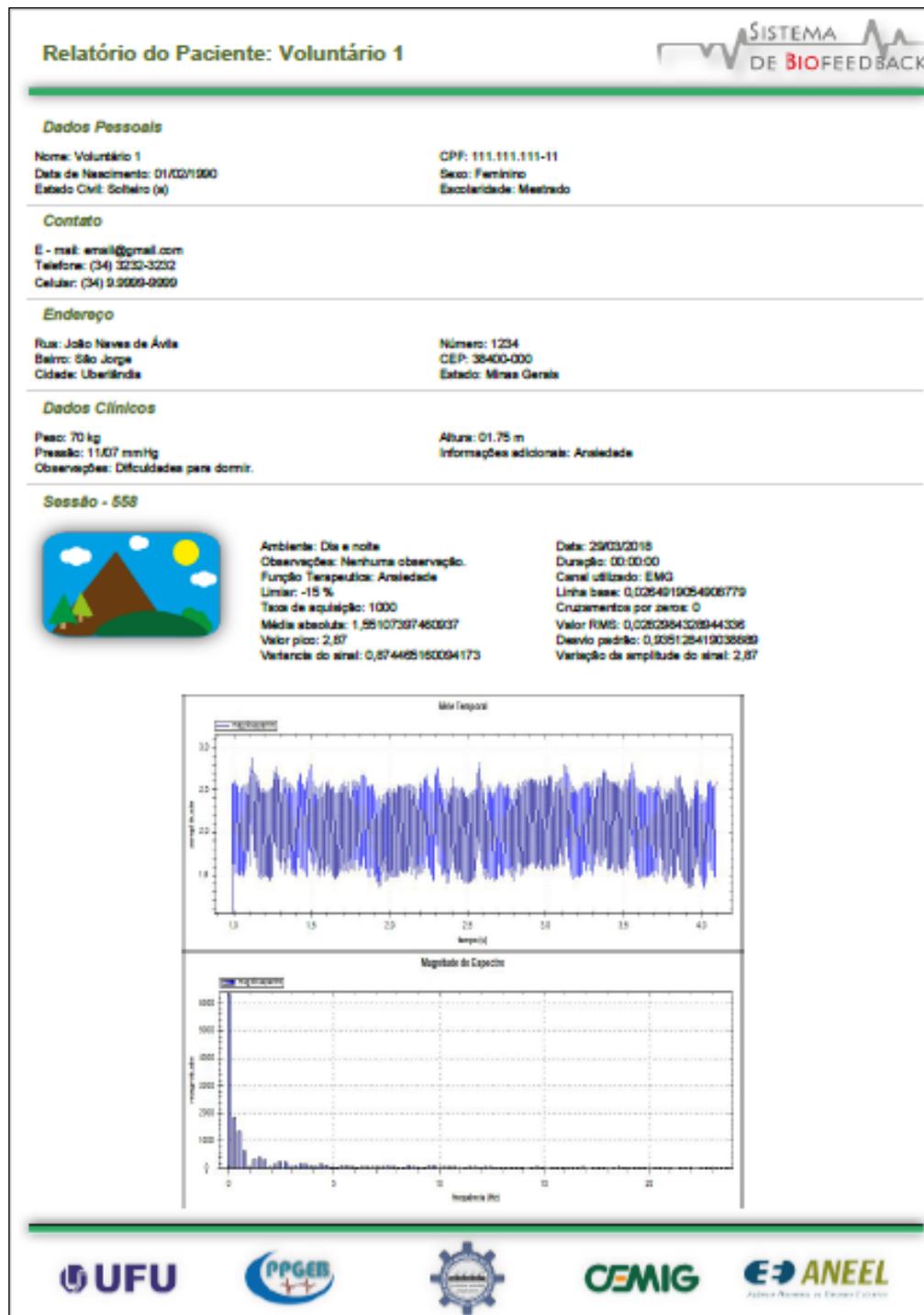
Figura 30 - Interface de Relatórios - Aba: Dados das sessões realizadas.



Fonte: autoria própria.

Quando uma sessão é selecionada, o botão Gerar relatório para impressão, que se encontra no lado esquerdo inferior da tela é ativado, ao clicar nele um arquivo em formato pdf se abre com todas as informações do paciente e da sessão que foi selecionada, dessa forma o arquivo poderá ser armazenado no computador ou impresso, conforme mostra a Figura 31.

Figura 31 - Modelo de Relatório para impressão



Fonte: autoria própria.

5.7. AJUDA

Voltando a Interface Principal é possível acessar pelo botão Ajuda, a Interface apresentada na Figura 32, ela é composta por uma única página com informações básicas referentes a como proceder para utilizar cada módulo do *software* corretamente.

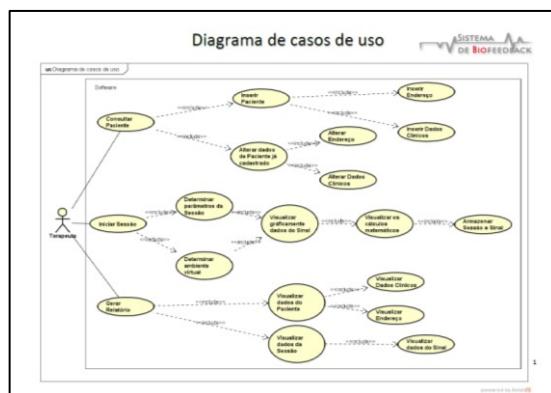
Figura 32 - Interface de Ajuda.



Fonte: autoria própria.

Além de um botão chamado Documentação do Sistema, localizado no canto direito superior da tela. Ao clicar neste botão um arquivo em formato pdf se abrirá (ver Figura 33) com toda a documentação do sistema, a mesma que está nesta dissertação nos Apêndices A, B e C.

Figura 33 - Documentação do Sistema.

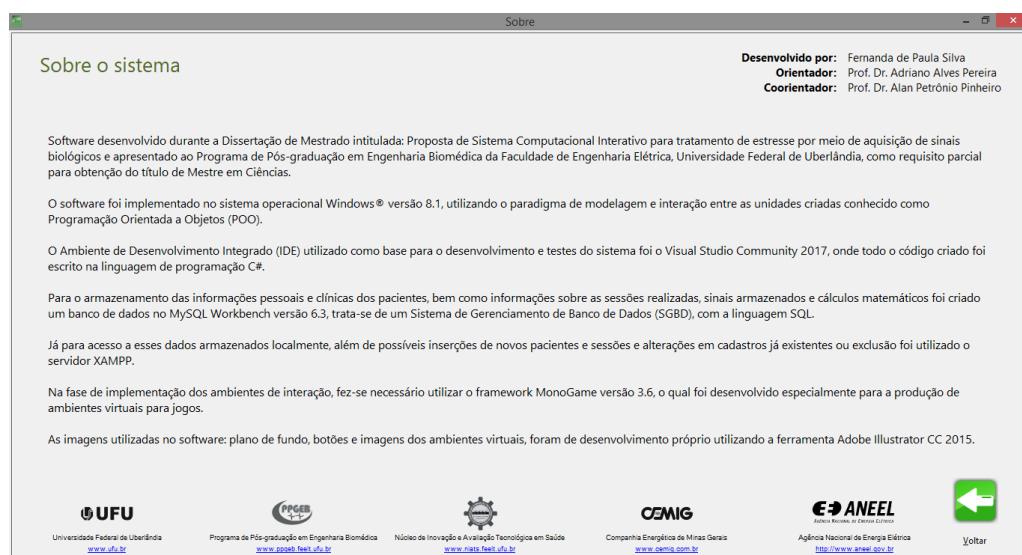


Fonte: autoria própria.

5.8. SOBRE O SISTEMA

E por fim, no último botão na Interface Principal, estão localizadas as informações do sistema, por meio dele é acessado a Interface da Figura 34, com conteúdo informativo, como dados básicos do desenvolvimento do *software*, e também referente as ferramentas e métodos utilizados no mesmo.

Figura 34 - Interface Sobre o sistema.



Fonte: autoria própria.

5.9. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados todos os componentes do *software* e suas principais funcionalidades desenvolvidas para construir um sistema de *biofeedback* capaz de atender as necessidades do terapeuta, gerando relatórios de acompanhamento e visualizações gráficas do sinal, e visando atender também o usuário com interface interativas e agradáveis, conforme foi proposto nesta pesquisa.

CAPÍTULO 6

VALIDAÇÃO DO SISTEMA: EXPERIMENTOS E AVALIAÇÕES

6.1. VALIDAÇÃO DO SISTEMA

A validação do sistema foi feita em duas etapas, primeiramente foi necessário realizar testes em todo o *software*, visando verificar se o mesmo é capaz de atender todos os requisitos pré-estabelecidos e já apresentados no Capítulo 4. Foram realizados testes sobre os requisitos funcionais para validar se as unidades de *software* estão executando corretamente o seu propósito. Os resultados foram positivos para todos os oito requisitos propostos.

Os testes de requisitos não funcionais determinaram se o *software* como um todo está funcionando conforme o esperado no que diz respeito aos tópicos citados anteriormente. Estão apresentados a seguir os resultados sobre cada categoria:

- Desempenho: O Comportamento em relação ao tempo está de acordo com o desejado para o momento de utilização da aplicação; O *software* executa suas funções dentro do esperado, utilizando os recursos do computador sem ocorrência de erros ou travamentos produzindo resultados conforme o destinado.
- Interoperabilidade: Os componentes combinados (*hardware* e *software*) funcionem corretamente, a comunicação do *software* com o *hardware*, acontece pela porta USB do computador, o *software* gera avisos quando o *hardware* está ou não conectado.
- Usabilidade: Os voluntários relataram que o *software* é de usabilidade satisfatória, a naveabilidade pela interface é simples e objetiva. Já que o mesmo contém poucas funções e todas estão identificadas por meio de imagens e legendas.
- Manutenibilidade: A arquitetura do *software* é dividida em camadas caso ocorra algum erro inesperado ou necessidade de alguma melhoria

no sistema. Desta forma, quando modificado, poderá ser prontamente testado e validado.

- Compatibilidade: O sistema foi desenvolvido para ser utilizado em máquinas com o Sistema Operacional Windows, independente de versões.
- Confiabilidade: Em caso de falhas o *software* apresenta mensagens de erro detalhadas com o motivo da tal falha, auxiliando o usuário em como proceder. Também é capaz de recuperar informações armazenadas em banco de dados.

Ainda sobre os testes de sistema, foram analisados todos os detalhes dos códigos para atender o diagrama de casos de uso, o diagrama de classes e o diagrama de atividades propostos (Apêndice A, B e C) e as boas práticas de POO e metodologia UML.

Além dos testes referentes ao conteúdo exposto no Capítulo 4, também foram feitos testes com voluntários que não conheciam o sistema e poderiam ser possíveis usuários finais. Esses testes foram realizados em todas as interfaces, a fim de validar as informações apresentadas no Capítulo 5.

Com isso foi observado por estes voluntários as configurações necessárias para cadastro de pacientes, geração de relatórios e início de sessão. Os mesmos relataram que as informações estão apresentadas de forma clara, contendo legendas e caixas de avisos sobre como proceder corretamente, além de desabilitar funções que ainda não podem ser acessadas dependendo da etapa em que o voluntário se encontra.

Tal estratégia é realizada para evitar o acesso indevido a determinadas configurações, assim evita a realização de sessões de maneira ineficaz, sem alguma calibração ou armazenamento necessários. Esse tipo de erro pode ser causado pelo excesso de ícones e menus distribuídos em excesso pela interface, o que deixa o usuário final confuso.

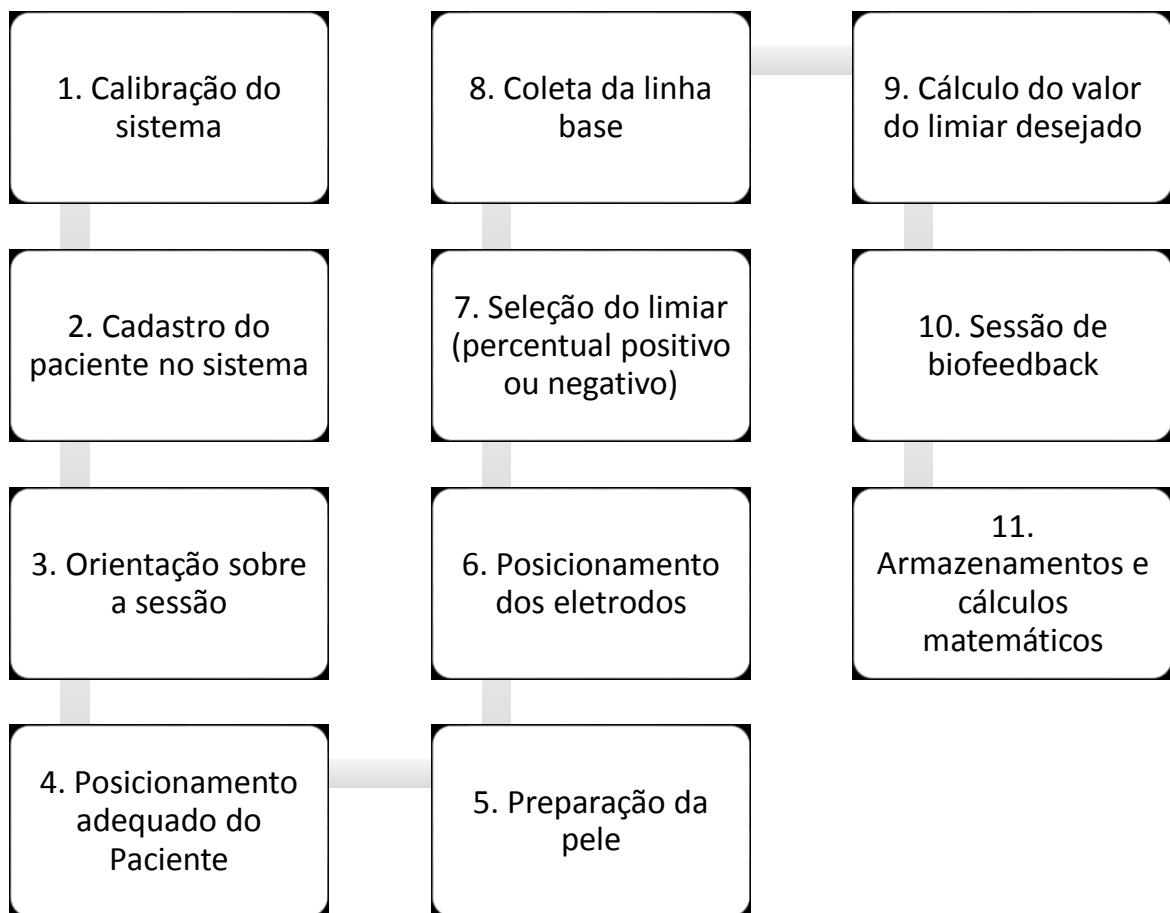
Sendo assim, os relatos dos voluntários demonstraram que o sistema é satisfatório e adequado ao que se propõem a fazer, realizando todas as tarefas propostas, sem travamentos, falhas ou dificuldade de compreensão por partes de novos usuários.

6.2. PROTOCOLO UTILIZADO NAS SESSÕES REALIZADAS

O desempenho das sessões do sistema foi avaliado por meio de experimentos específicos focando em propostas de terapia com *biofeedback* para relaxamento muscular e reforço muscular. Este estudo foi aprovado pelo comitê de ética local (CAAE: 47552515.6.0000.5152) e realizado na Universidade Federal de Uberlândia.

Vale ressaltar que tais experimentos tiveram como objetivo verificar a atuação do sistema *hardware/software*, suas características operacionais e de usabilidade. A seguir estão detalhadas as 11 etapas do protocolo utilizado para a realização de cada sessão (ver Figura 35).

Figura 35 - Protocolo utilizado para sessão.



1. Calibração do sistema: Teste de conexão entre o *hardware* e o *software*.
2. Cadastro do paciente no sistema: Os dados pessoais, clínicos e o endereço do paciente devem ser cadastrados no sistema.
3. Orientação sobre a sessão: Nessa etapa é necessário explicar ao paciente como será a sessão: em que posição ele deverá ficar, onde os eletrodos serão colocados, qual será o objetivo da sessão e como o mesmo deve proceder.
4. Posicionamento adequado do Paciente: O paciente deverá ficar sentado confortavelmente em uma cadeira, com os pés e mãos relaxados e em repouso, observando o monitor do computador.
5. Preparação da pele: Após a seleção do sensor, a pele do paciente precisa ser preparada para obter um bom contato de eletrodo-pele. As recomendações de (SENIAM, 1999a) para a preparação da pele recomendam a depilação do paciente se a superfície da pele em que os eletrodos devem ser colocados é coberta de pelo. E também limpar a pele com álcool e permitir que o álcool se vaporize para que a pele esteja seca antes que os eletrodos sejam colocados.
6. Posicionamento dos eletrodos:
 - Para as sessões de relaxamento: O eletrodo de superfície deverá ser fixado no músculo masseter, o ponto de referência para a colocação do eletrodo estará entre uma linha imaginária que fica entre o ângulo da mandíbula até o canto externo do olho, o ponto exato de fixação fica a dois centímetros da mandíbula (RODRIGUES et al., 2006).
 - Para as sessões de reforço: Os eletrodos precisam ser colocados na linha entre o acrômio medial e o meio da fossa a 1/3 do meio da fossa. (SENIAM, 1999b)
7. Seleção do limiar (percentual positivo ou negativo): Essa definição é feita na interface para iniciar a sessão, e dependerá do desejo do terapeuta. Há casos que o ideal será aumentar o percentual, como para trabalhar concentração e reforço muscular. Já em outros casos, o percentual poderá ser diminuído, para tratar estresse, relaxamento e insônia, por exemplo.

8. Coleta da linha base: Após a configuração inicial, definição do limiar e escolha do ambiente a sessão começará. Os primeiros dois minutos serão para a coleta da atividade elétrica inicial do paciente, ou seja, a linha base. Com esses valores será determinado o valor do limiar a ser alcançado durante o tempo de sessão.
9. Cálculo do limiar desejado: Esse valor aparecerá para o terapeuta após os primeiros dois minutos, e corresponde ao valor da linha base somado ao percentual definido pelo terapeuta durante a configuração da sessão. Conforme apresentado na Figura 36.

Figura 36 - Cálculo do limiar desejado.

$$\text{Limiar desejado} = \text{Linha base} + \frac{(\text{Linha base} \times \text{Percentual})}{100}$$

Fonte: autoria própria.

10. Sessão de *biofeedback*: O tempo de duração da sessão é livre e ocorrerá de acordo com o que o terapeuta julgar mais adequado, sendo que o paciente pode ou não atingir o limiar estabelecido. Para as sessões experimentais a duração foi definida em 5 minutos.
11. Armazenamentos e cálculos matemáticos: Ao final da sessão os cálculos matemáticos e gráficos são armazenados. Os mesmos poderão ser consultados por meio dos relatórios do paciente ou pelo botão cálculo de sinais, que se habilitará somente ao final da sessão.

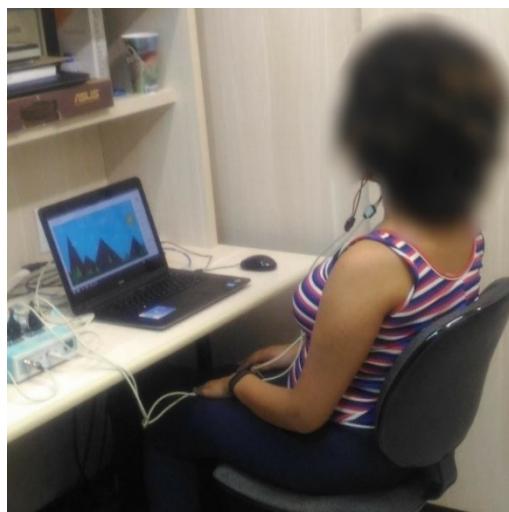
6.2.1. Ambiente: Dia e noite

O primeiro experimento realizado foi com o ambiente dia e noite, com a funcionalidade terapêutica de relaxamento muscular, utilizando o canal EMG. Para esse experimento foram determinados os seguintes parâmetros: reduzir o valor RMS em -25% do valor calculado inicialmente.

A voluntária foi orientada sobre como ocorreria a sessão, posição em que a mesma deverá ficar e onde os eletrodos serão fixados. Para a sessão de relaxamento foi escolhido o músculo masseter.

Também foi explicado a voluntária detalhes sobre o ambiente com o qual a mesma iria interagir, sendo que o objetivo do ambiente dia e noite é manter-se durante o dia e para tal é necessário que a voluntária se sinta relaxada (Figura 37).

Figura 37 - Sessão 1: Ambiente dia e noite.

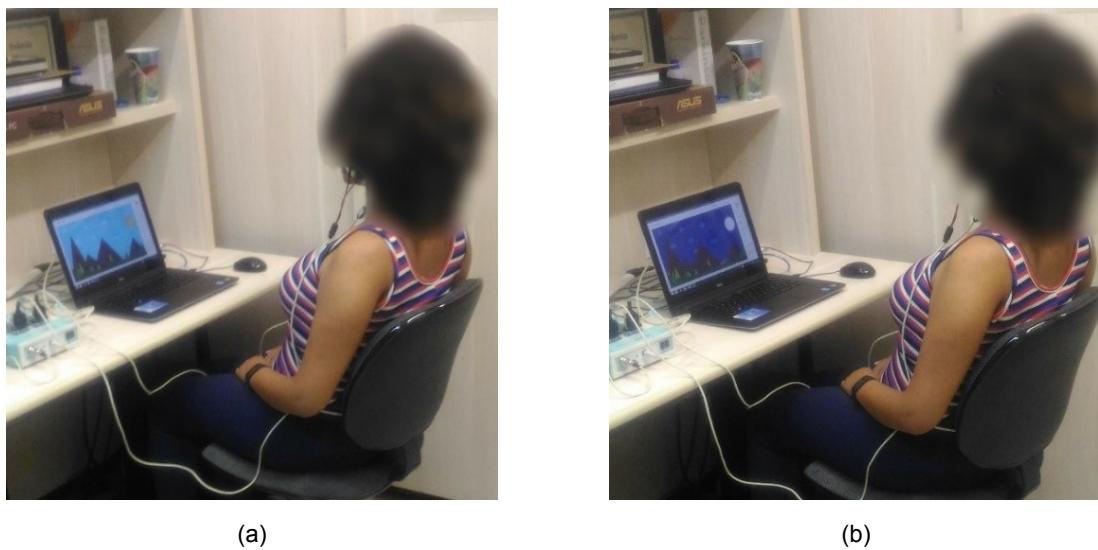


Fonte: autoria própria.

A voluntária demonstrou aptidão em compreender sua interação com o sistema e pôde perceber quando estava se aproximando do limiar estabelecido. Observando que quando era solicitado a mesma que relaxasse a mandíbula o ambiente alterava-se para o dia (Figura 38a).

Ou então se afastando do limiar estabelecido para a sessão, notado por meio das alterações na cor do céu de azul claro para azul escuro e a aparição da “lua” no lugar do “sol” (Figura 38b).

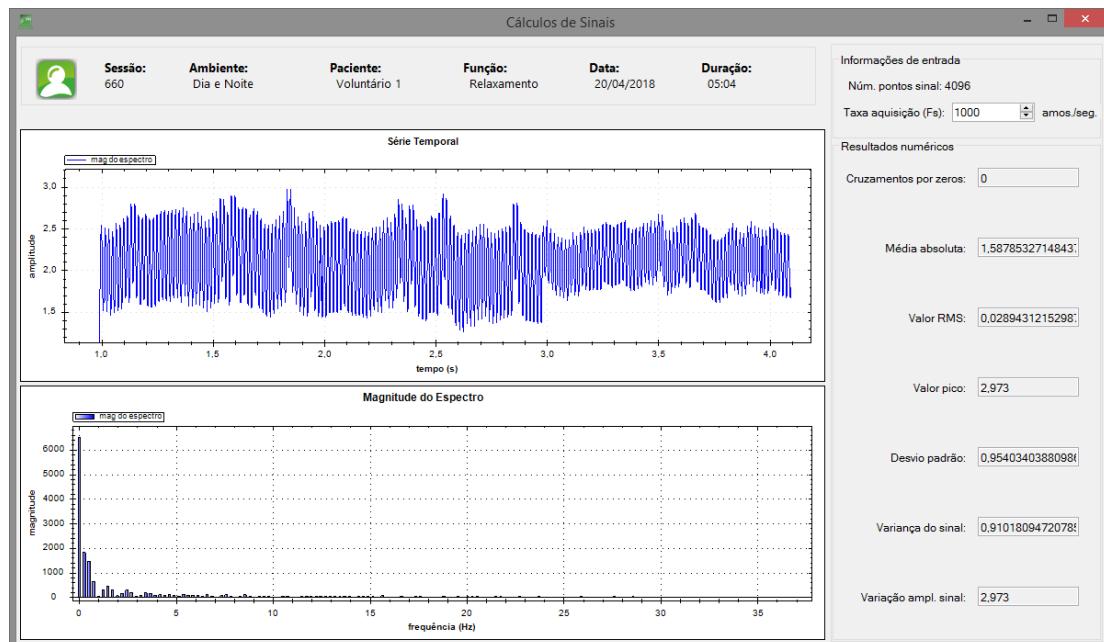
Figura 38 - Sessão 1: (a) Voluntária aproximando-se do limiar; (b) Voluntária afastando-se do limiar.



Fonte: autoria própria.

Após o fim da sessão, a voluntária pôde descrever sua experiência, afirmando que conseguiu buscar as melhores estratégias para alcançar o resultado esperado. Também foi possível ter acesso aos cálculos do sinal coletado, conforme apresentado na Figura 39.

Figura 39 - Sessão 1: Cálculos do sinal.



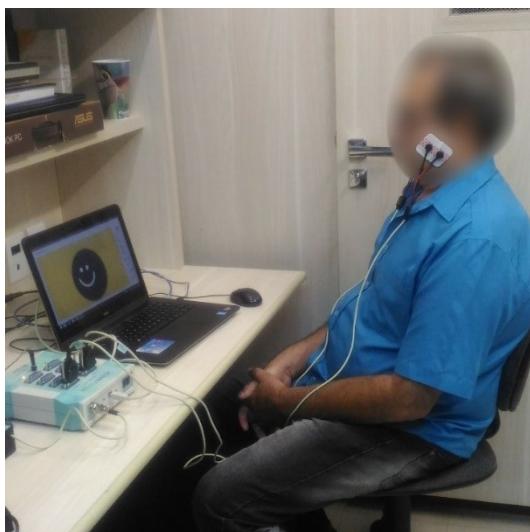
Fonte: autoria própria.

6.2.2. Ambiente: Expressões

A próxima sessão de testes foi realizada utilizando o ambiente expressões, empregando a funcionalidade terapêutica de relaxamento muscular, com o canal EMG. Para esse experimento foram determinados os seguintes parâmetros: reduzir o valor RMS em -25% do valor calculado previamente.

O voluntário foi informado sobre como seria a sessão, posição em que o mesmo deverá ficar em frente ao computador e onde os eletrodos serão posicionados, nesta sessão foi seguido o mesmo protocolo utilizado na primeira sessão. Ou seja, os eletrodos foram posicionados no masseter (Figura 40).

Figura 40 - Sessão 2: Ambiente expressões.

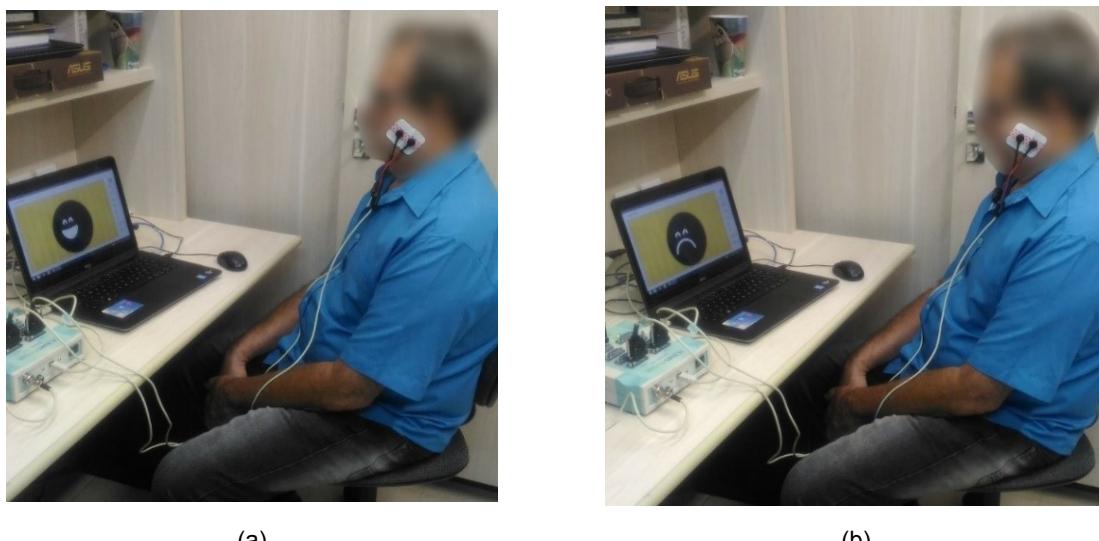


Fonte: autoria própria.

Além disso, também foi explicado ao voluntário detalhes sobre o ambiente com o qual o mesmo interagiu, sendo que o objetivo do ambiente expressões é manter o avatar o mais “feliz” possível. Como objetivo desta sessão é relaxamento muscular, então para visualizar o avatar “feliz” é necessário que o voluntário se mantenha relaxado o máximo possível (Figura 41a).

Para a validação do ambiente foi pedido ao voluntário que pressionasse os dentes, para contrair os músculos e assim se afastar do limiar estabelecido, em resposta a isso foi apresentado na tela o avatar “triste” (Figura 41b).

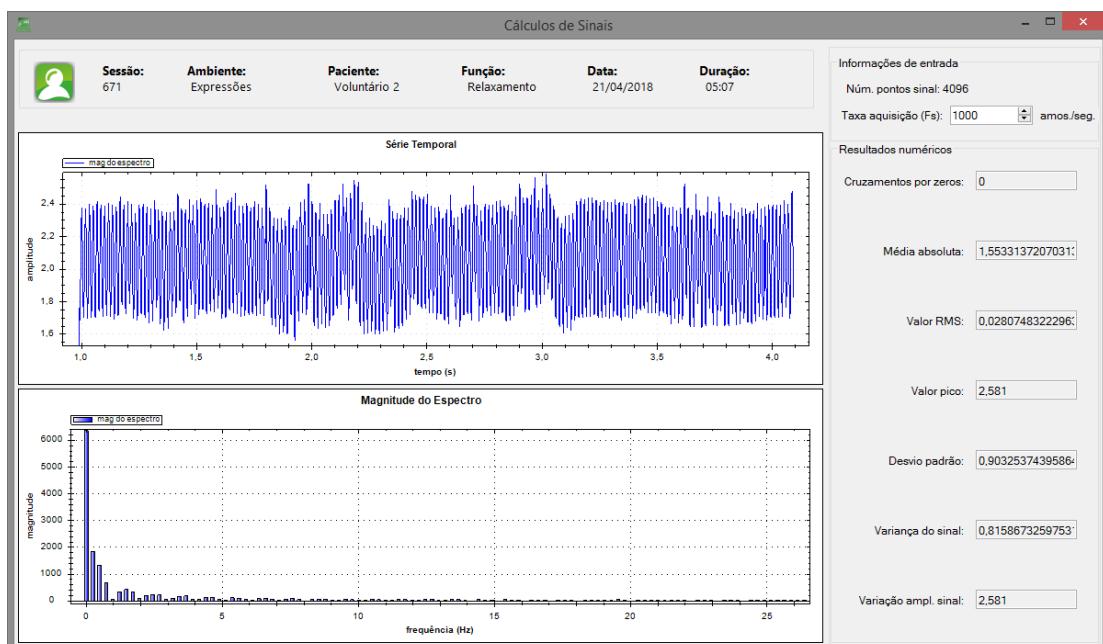
Figura 41 - Sessão 2: (a) Voluntário aproximando-se do limiar; (b) Voluntário afastando-se do limiar.



Fonte: autoria própria.

O voluntário declarou facilidade para interpretar sua interação com o sistema, também afirmou identificar com facilidade as alterações ocorridas no avatar, podendo notar quando estava se aproximando ou se afastando do padrão estabelecido para a sessão. Após a realização de sessão foi possível visualizar todo o sinal coletado e os cálculos matemáticos referentes ao mesmo (Figura 42).

Figura 42 - Sessão 2: Cálculos do sinal.



Fonte: autoria própria.

6.2.3. Ambiente: Neblina

Já a terceira sessão experimental, foi feita utilizando o ambiente neblina, com função de terapia para reforço muscular, e o canal utilizado foi o EMG. Para esse experimento foram determinados os seguintes parâmetros: aumentar o valor RMS em 25% do valor calculado no princípio da sessão.

A voluntária recebeu as orientações básicas sobre como ocorreria a sessão, posição em que a mesma deveria ficar em frente ao monitor. Logo em seguida foi realizado o procedimento de colocação dos eletrodos no bíceps (Figura 43).

Figura 43 - Sessão 3: Ambiente neblina.



Fonte: autoria própria.

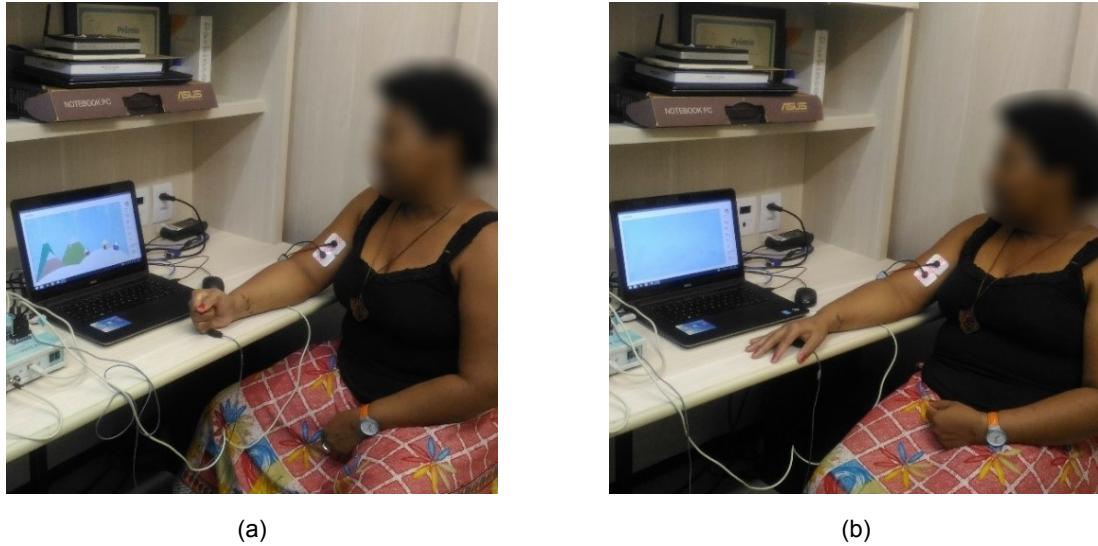
Também foi informado a voluntária detalhes sobre as possíveis alterações no ambiente utilizado, sendo que o objetivo do ambiente neblina é manter-se com o tempo “limpo” e para isso é necessário que a voluntária contraí o músculo, para alcançar o percentual estabelecido (Figura 44a).

No momento em que foi pedido a voluntária para que relaxasse o braço a neblina começou a aparecer na imagem, deixando o ambiente completamente coberto (Figura 44b).

A voluntária não relatou nenhuma dificuldade em relação à dinâmica e ao controle da sessão. A neblina aparecendo quando a voluntária estava se afastando

do padrão estabelecido ou se dissipando quando a voluntária se aproximava do padrão, mostrou-se um elemento que apesar de simples foi intuitivo como *feedback*.

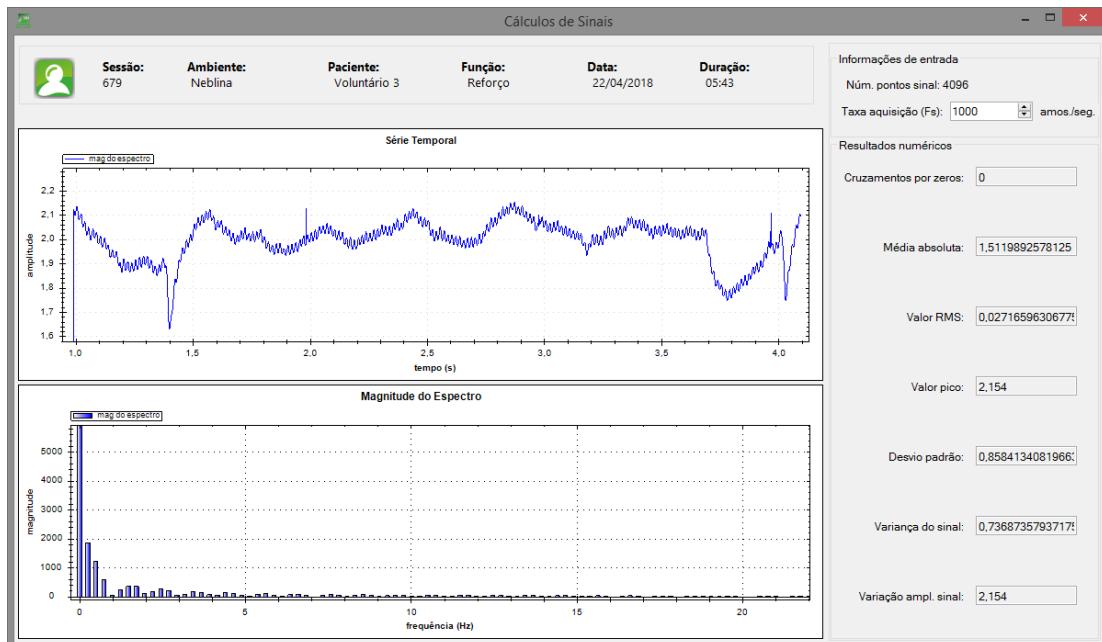
Figura 44 - Sessão 3: (a) Voluntária aproximando-se do limiar; (b) Voluntária afastando-se do limiar.



Fonte: autoria própria.

Após o término da sessão foi possível visualizar todo o sinal coletado, bem como os cálculos referentes ao mesmo, conforme apresentado na Figura 45.

Figura 45 - Sessão 3: Cálculos do sinal.



Fonte: autoria própria

6.2.4. Ambiente: Quebra-cabeça

A última sessão, foi realizada utilizando o ambiente quebra-cabeça, no experimento de reforço muscular, e o canal EMG. Para esta sessão foram determinados os seguintes parâmetros: aumentar o valor RMS em 25% do valor calculado no começo da sessão.

O voluntário foi orientado sobre os detalhes da sessão, posição corporal e onde os eletrodos seriam fixados, nesta sessão também foram fixados no bíceps (Figura 46).

Figura 46 - Sessão 4: Ambiente quebra-cabeça.

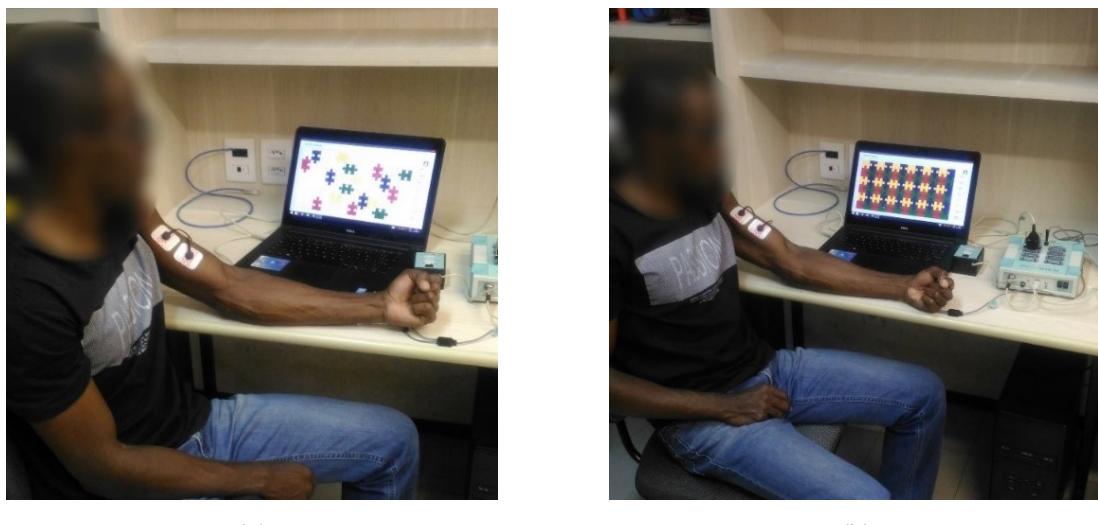


Fonte: autoria própria.

Também foi explicado ao voluntário detalhes sobre o ambiente com o qual o mesmo interagiu, sendo que o objetivo do ambiente quebra-cabeça é montar todas as peças o mais rápido possível e para isso é necessário que o voluntário mantenha o músculo contraído o máximo de tempo possível (Figura 47a).

O voluntário não relatou qualquer dificuldade em relação à dinâmica e ao controle da sessão. O quebra-cabeça se monta mais devagar quando ele estava se afastando do padrão estabelecido ou com maior velocidade quando ele se aproximava do padrão, até todas as peças aparecerem na tela (Figura 47b).

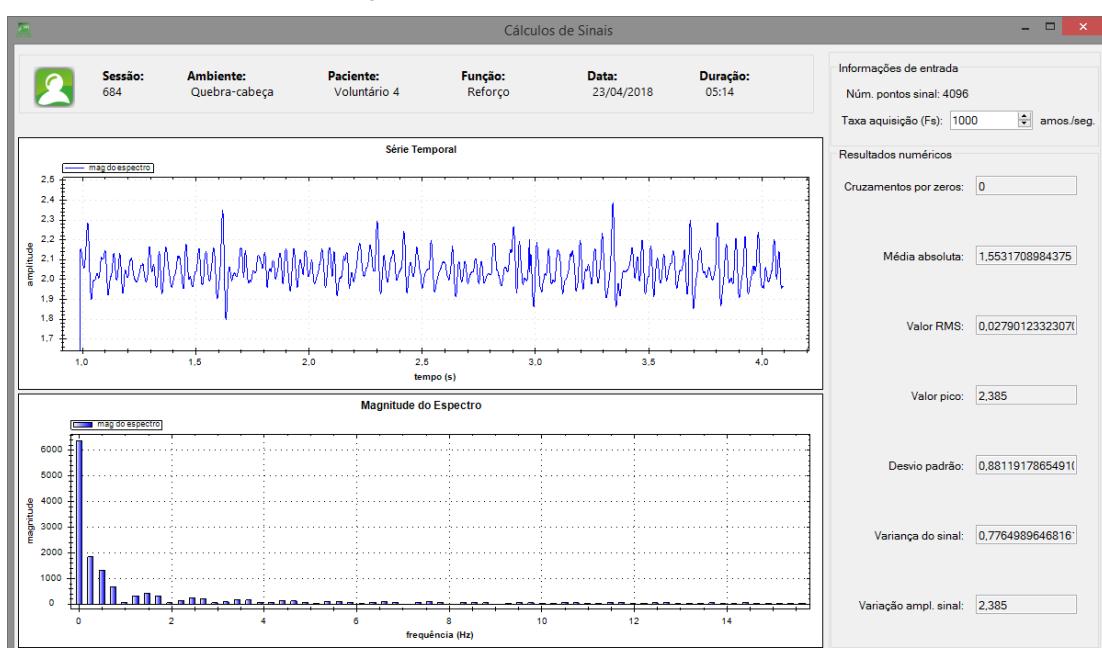
Figura 47 - Sessão 4: (a) Voluntário aproximando-se do limiar; (b) Voluntário alcançando o limiar.



Fonte: autoria própria.

Após a realização da sessão foi possível visualizar o sinal coletado e os cálculos referentes ao mesmo, conforme apresentado na Figura 48.

Figura 48 - Sessão 4: Cálculos do sinal.



Fonte: autoria própria.

6.3. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

A fim de sumarizar os resultados dos testes com voluntários e demonstrar como o sistema foi capaz de atender as indigências que foram propostas, foi realizada uma avaliação dos resultados para todos os aspectos do sistema.

Os testes dos requisitos funcionais, dos requisitos não funcionais e as sessões experimentais foram realizados para comprovar o desempenho satisfatório do sistema desenvolvido em circunstâncias distintas e a usabilidade do *software* para diferentes públicos.

Deve-se ressaltar que um sistema orientado para a usabilidade possui uma interface que deve ser usada para executar uma tarefa sem chamar nenhuma atenção para si, de modo a permitir que os usuários não precisem focalizar a sua energia na interface em si, mas apenas no trabalho que eles desejam executar (NORMAN; W. DRAPER, 1986).

Com isso, foram realizados testes que incluíram cadastros de pacientes, geração de relatórios e sessões experimentais para cada ambiente desenvolvido, utilizando diferentes funções terapêuticas e objetivos.

Os voluntários, que também operaram o sistema executando a função de terapeuta, não descreveram dificuldade ou limitação para manuseio do sistema *hardware/software*, no que diz respeito a: conexões, preenchimento de formulários, armazenamento e busca de dados, geração de relatórios, calibrações e configurações.

Os voluntários que participaram da pesquisa com a função de paciente, julgaram os ambientes virtuais envolvedores e interessantes de modo a se sentirem confortáveis com o tempo gasto em cada sessão. Todos obtiveram sucesso em suas sessões experimentais, sendo que algumas foram feitas para reforço muscular (induzir o aumento do RMS) e outras para relaxamento muscular (induzir a diminuição do valor RMS).

Os resultados das sessões experimentais estão apresentados na Tabela 12 com os principais dados sumarizados dos voluntários e suas sessões.

Tabela 12 - Resultados das sessões experimentais realizadas.

Sessão	Funcionalidade terapêutica	Canal Utilizado	Ambiente	Objetivo	Percentual
S1	Relaxamento Muscular	EMG	Dia e noite	Reducir o valor RMS	-25%
S2	Relaxamento Muscular	EMG	Expressões	Reducir o valor RMS	-25%
S3	Reforço Muscular	EMG	Neblina	Aumentar o valor RMS	25%
S4	Reforço Muscular	EMG	Quebra-cabeça	Aumentar o valor RMS	25%

Fonte: autoria própria.

Para cada voluntário foram realizadas 3 sessões experimentais, todas seguindo o mesmo protocolo apresentado e com duração média de 5 minutos cada sessão. Em todas as sessões foram utilizadas o sinal eletromiográfico (EMG), pois havia somente cabos para EMG.

Foi estipulado um percentual de 25% para as sessões de reforço e -25% para as sessões de relaxamento, esses valores foram definidos aleatoriamente a fim de testar a capacidade do sistema em retornar uma resposta, sendo ela positiva ou negativa, ao usuário.

As sessões que obtiveram resultados positivos em menor tempo de execução foram as que tiveram como função terapêutica o reforço muscular. Sendo assim, o objetivo seria aumentar o valor RMS em relação ao valor coletado no início da sessão (primeiros 2 minutos da sessão).

Já as sessões com função terapêutica de relaxamento, necessitaram de maior tempo e dedicação do voluntário para alcançar os resultados esperados. Vale ressaltar que para ser possível um relaxamento adequado é necessário um ambiente sem interferências externas.

Os voluntários demonstraram interesse nas sessões e todos relataram facilidade em interagir com o ambiente, provando que o sistema criado é intuitivo, podendo ser operado com facilidade. Em todas as sessões realizadas os voluntários conseguiram alcançar o objetivo proposto.

As medidas estatísticas usadas para determinar as variações que ocorrerem no ambiente virtual durante as sessões foram baseadas na raiz do valor quadrático médio ou RMS (*root mean square*). Pelo RMS ser o valor que proporciona mais dados em relação à amplitude do sinal EMG, por fornecer o número de unidades motoras que estão sendo ativadas naquele instante (recrutamento motor), além da frequência de disparo das unidades motoras e a forma dos potenciais de ação das unidades motoras (área) (BASMAJIAN, 1976)(LUCA, DE, 1985).

Sendo que para realizar as alterações do ambiente, foi feita uma comparação do valor RMS inicial do usuário com o valor RMS coletado em tempo real durante a sessão. Desta forma, o usuário terá que se aprimorar a cada sessão realizada para alcançar resultados positivos. Por isso que o tratamento com biofeedback, como com qualquer outra técnica de terapia cognitivo-comportamental é feito de médio a longo prazo, necessitando de diversas sessões e acompanhamento constante para alcançar resultados satisfatórios para o paciente.

As principais limitações desta pesquisa estão relacionadas aos testes com voluntários. O ideal seria testar com uma amostra de voluntários maior e por várias sessões a fim de comprovar que o método de tratamento poderá ser ou não eficaz. Este tipo de análise não pôde ser realizada pela quantidade limitada de voluntários e sessões.

6.4. RESUMO DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou a etapa final desta pesquisa, composta pela validação do sistema proposto e desenvolvido. Para tal, foram feitas sessões experimentais com diferentes parâmetros, a fim de comprovar a eficácia do sistema em relação a interpretação do sinal capturado e as alterações esperadas em cada ambiente virtual. Os resultados alcançados e os relatos dos voluntários demonstram que o sistema é eficaz para o que foi proposto, sendo atrativo e gerando resultados conforme o esperado.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

7.1. CONCLUSÕES GERAIS

Este trabalho resultou no desenvolvimento de um sistema de aquisição e processamento de sinais biológicos ou sistema de *biofeedback*. Utilizado como alternativa para os tratamentos de distúrbios relacionados ao estresse. De maneira não invasiva e não medicamentosa, dependendo apenas do desenvolvimento da consciência corporal do indivíduo e sua interação com o sistema.

Em virtude do que foi mencionado, os resultados provenientes do desenvolvimento desta pesquisa são relevantes para diversas formas de tratamentos. Sendo capazes de proporcionar uma opção não invasiva por meio de interação virtual, para auxiliar no processo de promoção de autorregulação dos sintomas que estão sendo tratados.

Essa afirmação se justifica não somente pelos resultados observados nos testes de validação, mas também em função da capacidade de aprendizagem rápida de utilização, a facilidade de adequações que possam ser feitas no sistema para atender as necessidades dos usuários finais e o baixo custo do projeto.

Logo, diante dos resultados referentes aos testes efetuados com voluntários, pode-se afirmar que o sistema desenvolvido trata-se de uma ferramenta útil para uma modalidade terapêutica inovadora. Sendo também capaz de motivar a criação de novos objetos de estudo na área de desenvolvimento de sistemas computacionais e aplicativos para dispositivos móveis.

Outra característica importante do sistema é a possibilidade de utilização de dois ou mais canais simultaneamente, já que o *hardware* utilizado pode captar até oito canais concomitantemente. Tornando os resultados da sessão de *biofeedback* mais

confiáveis já que agrega uma maior abrangência de informações sobre o paciente em seu tratamento.

O *software* ainda exige determinadas melhorias, como por exemplo possuir imagens em 3D, *feedback* auditivo, necessita de testes visando atender as outras funcionalidades terapêuticas propostas e testes com os outros canais aceitos pelo *hardware*, os quais não foram realizados devido o equipamento não possuir os sensores próprios para tal.

Do ponto de vista científico, as principais contribuições deste trabalho são:

- Desenvolvimento de um sistema completo, capaz de realizar sessões e acompanhamento de pacientes a longo prazo, para terapia cognitivo-comportamental por meio de *biofeedback*;
- Promoção da utilização de tratamento alternativos para problemas comuns que muitas vezes são tratados apenas com medicação;
- Possibilidade de nova forma de ascensão da consciência corporal de forma virtual para pessoas com estresse.

7.2. TRABALHOS FUTUROS

Os testes feitos no sistema e apresentados nesta pesquisa mostram que o mesmo atende todas as funções para o qual foi desenvolvido, contudo alguns aspectos podem ser aperfeiçoados, como por exemplo:

- Aprimorar os ambientes de interação apresentados nesta dissertação, mudando as imagens dos ambientes para outras mais realistas e em 3D;
- Criar novos ambientes e jogos utilizando animações 3D, de modo que o usuário possa ter diferentes ambientes de interação e jogos atrativos tornando o tempo de sessão mais agradável;
- Acrescentar efeitos sonoros com o intuito de tornar o uso do sistema mais atrativo ao usuário final;

- Testar os outros canais não utilizados: eletroencefalografia, eletrocardiograma e resposta galvânica da pele.
- Desenvolver um aplicativo similar a esse para o uso em dispositivos móveis, de modo que o paciente não precise se deslocar constantemente em busca de um tratamento de *biofeedback*, assim ele poderá realizar uma sessão em qualquer lugar, alcançando resultados mais rapidamente e de maneira mais eficaz.

Vale ressaltar que esta pesquisa não investiga as potencialidades terapêuticas do sistema. Devido a isso, faz-se necessário estudos voltados para a avaliação da eficácia do *biofeedback* utilizando o sistema apresentado aqui. Também é importante que se possa acompanhar os resultados gerados pela utilização do sistema a longo prazo, espera-se que o uso contínuo do sistema possa acarretar melhorias significativas no tratamento de diversos transtornos.

REFERÊNCIAS

ABBIO - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BIOFEEDBACK. Biofeedback: Retroalimentação Biológica. Disponível em: <<http://www.abbio.com.br/hp/biofeedback/>>. Acesso em: 6/1/2018.

AGÊNCIA BRASIL. **Transtornos mentais atingem 23 milhões de pessoas no Brasil.** 2010.

APA - AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION. **Manual diagnóstico e estatístico de transtornos mentais.** Porto Alegre, 2014.

APACHE FRIENDS. What is XAMPP? Disponível em: <https://www.apachefriends.org/pt_br/index.html>. Acesso em: 9/11/2017.

BASMAJIAN, J. V. **Electrofisiología de la acción muscular.** Buenos Aires, 1976.

BASMAJIAN, J. V. **Biofeedback: Principles and Practice for Clinicians.** Baltimore: Williams & Wilkins, 1979.

BHAT, P. Efficacy of Alfa EEG wave biofeedback in the management of anxiety. **Industrial Psychiatry Journal**, v. 19, n. 2, p. 111–114, 2010. <https://doi.org/10.4103/0972-6748.90341>

BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. **UML: guia do usuário.** CAMPUS - RJ, 2006.

BOOKER, H.; RUBOW, R.; COLEMAN, P. **Simplified feedback in neuromuscular retrening; an automated approach using electrmyographic signals.** 1969.

BRACH, J.; VANSWEARINGEN, J.; LENERT, J.; JOHNSON, P. **Facial neuromuscular retraining for oral synkinesis.** Plast Reconstr Surg, 1999.

BROWN, C. Instruments in psychophysiology. **Handbook of psychophysiology.** p.159–195, 1972.

CARROBLES, J. A.; GODOY, J. **Biofeedback. Principios y aplicaciones.** Martinez Roca, 1987.

CHAGAS, P. V. **Transtornos mentais são terceira maior causa de afastamento do trabalho.** Brasília, 2017.

CHUNG, L.; NIXON, B.; YU, E.; MYLOPOULOS, J. **Non-Functional Requirements**

in **Software Engineering**. 1999.

CORPORATION, M. C. Measurement Computing Corporation. Disponível em: <<http://www.mccdaq.com/>>. Acesso em: 17/6/2017.

CUTSHALL, S. M.; WENTWORTH, L. J.; WAHNER-ROEDLER, D. L.; et al. Evaluation of a biofeedback-assisted meditation program as a stress management tool for hospital nurses: a pilot study. **Explore (New York, N.Y.)**, v. 7, n. 2, p. 110–112, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.explore.2010.12.004>

DATTILIO, F. M.; FREEMAN, A. **Compreendendo a Terapia Cognitiva**. São Paulo: Editorial Psy, 1998.

DB-ENGINES. Historical Trend of the Popularity Ranking of Database Management Systems. Disponível em: <<https://db-engines.com/en/ranking>>. Acesso em: 8/11/2017.

DIAS, Á. M. TENDÊNCIAS DO NEUROFEEDBACK EM PSICOLOGIA: REVISÃO SISTEMÁTICA. **Psicologia em estudo**, v. 15, n. 4, p. 811–820, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1413-73722010000400017>

ÉISMONT, E. V; LUTSYUK, N. V; PAVLENKO, V. B. Moderation of Increased Anxiety in Children and Teenagers with the Use of Neurotherapy: Estimation of the Efficacy. **Neurophysiology**, v. 43, n. 1, p. 53–61, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11062-011-9185-5>

FERNANDO, C. K.; BASMAJIAN, J. V. Biofeedback in physical medicine and rehabilitation. **Biofeedback Self Regul**, v. 3, n. 4, p. 435–455, 1978. <https://doi.org/10.1007/BF00998946>

FULLER, G. D. **Biofeedback: Methods and procedures in clinical practice**. 1^a ed. São Francisco: 1979, 1977.

FUNK, M.; DREW, N.; FREEMAN, M.; FAYDI, E.; ORGANIZATION, W. H. **Mental health and development: Targeting people with mental health conditionc as a vulnerable group**. 2010.

G1. Gastos com auxílio-doença e aposentadoria ultrapassam R\$ 4 bilhões em 2012 - Jornal Hoje - Catálogo de Vídeos. **G1**, 2013.

GAARDER, K. R.; MONTGOMERY, P. S. **Clinical Biofeedback: A Procedural Manual**. Michigan: Wilkins, Williams &, 1977.

GALITZ, W. O. **The Essential Guide to User Interface Design: An Introduction to GUI Design Principles and Techniques**. Wiley, 2007.

GELADÉ, K.; BINK, M.; JANSSEN, T. W. P.; et al. An RCT into the effects of neurofeedback on neurocognitive functioning compared to stimulant medication and physical activity in children with ADHD. **European Child & Adolescent Psychiatry**, v. 26, n. 4, p. 457–468, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00787-016-0902-x>

GHOLAMI TAHSINI, Z.; MAKVAND HOSSEINI, S.; KIANERSI, F.; RASHN, S.; MAJDARA, E. Biofeedback-Aided Relaxation Training Helps Emotional Disturbances in Undergraduate Students Before Examination. **Applied psychophysiology and biofeedback**, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10484-017-9375-z>

GRAZZI, L. Behavioural treatments: rationale and overview of the most common therapeutic protocols. **Neurological Sciences**, v. 28, n. 2, p. S67–S69, 2007. <https://doi.org/10.1007/s10072-007-0753-9>

GREEN, E.; GREEN, A. **Beyond biofeedback**. New York, 1977.

GUIDE, U. USB-1208FS User's Guide Trademark and Copyright Information. , 2014.

HALL, A. C. G. J. E. **Tratado de Fisiologia Médica**. 12^a ed. São Paulo: 2011, 1946.

HALLMAN, D. M.; OLSSON, E. M. G.; SCHEELE, B. VON; MELIN, L.; LYSKOV, E. Effects of heart rate variability biofeedback in subjects with stress-related chronic neck pain: a pilot study. **Applied psychophysiology and biofeedback**, v. 36, n. 2, p. 71–80, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10484-011-9147-0>

HAMMERSCHLAG, P. **Facial reanimation with jump interpositional graft hypoglossal facial anastomosis and hypoglossal facial anastomosis: evolution in management of facial paralysis**. Laringoscope, 1999.

HENRIQUES, G.; KEFFER, S.; ABRAHAMSON, C.; HORST, S. J. Exploring the effectiveness of a computer-based heart rate variability biofeedback program in reducing anxiety in college students. **Applied psychophysiology and biofeedback**, v. 36, n. 2, p. 101–112, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10484-011-9151-4>

ISO. ISO/IEC 9126: Engenharia de software - Qualidade de produto -Parte 1: Modelo de qualidade. **Rio de Janeiro: ABNT**, p. 1–21, 2003.

KANG, E.-H.; PARK, J.-E.; CHUNG, C.-S.; YU, B.-H. Effect of Biofeedback-assisted Autogenic Training on Headache Activity and Mood States in Korean Female Migraine Patients. **Journal of Korean Medical Science**, v. 24, n. 5, p. 936, 2009. <https://doi.org/10.3346/jkms.2009.24.5.936>

KROLL, P.; KRUCHTEN, P. **The Rational Unified Process Made Easy: A Practitioner's Guide to the RUP: A Practitioner's Guide to the RUP**. Pearson Education, 2003.

KRUCHTEN, P. **The Rational Unified Process: An Introduction**. Addison-Wesley, 2004.

LABRADOR, F. J.; ENCINAS, F. J. L. Técnicas de biofeedback. **Manual de técnicas de modificación y terapia de conducta**, Colección Psicología. 3^a ed., p.910, 1984.

LANCET GLOBAL MENTAL HEALTH GROUP, J.; CHISHOLM, D.; FLISHER, A. J.; et al. Scale up services for mental disorders: a call for action. **Lancet (London, England)**, v. 370, n. 9594, p. 1241–52, 2007.

LANDE, R. G.; WILLIAMS, L. B.; FRANCIS, J. L.; GRAGNANI, C.; MORIN, M. L. Efficacy of biofeedback for post-traumatic stress disorder. **Complementary therapies in medicine**, v. 18, n. 6, p. 256–259, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2010.08.004>

LANTYER, A. DA S.; VIANA, M. DE B.; PADOVANI, R. DA C. Biofeedback no tratamento de transtornos relacionados ao estresse e à ansiedade: uma revisão crítica. **Psico-USF**, v. 18, p. 131–140, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1413-82712013000100014>

LIEW, S. P. **Monitoring galvanic skin responses in functional magnetic resonance imaging**. 2001. University of Queensland. 2001.

LINDH, W. Q.; POOLER, M.; TAMPARO, C. D.; DAHL, B. M. **Delmar's Comprehensive Medical Assisting: Administrative and Clinical Competencies**. 4^a ed. Cengage Learning, 2009.

LOWDERMILK, T. **Design Centrado no Usuário**. NOVATEC, 2013.

LUCA, C. J. DE. **Muscle alive: their function revealed by electromyography**. 5^a ed. Baltimore, 1985.

LYNN, S. J. Transfer y evaluación del entrenamiento en biofeedback. **Generalización y transfer en psicoterapia**, 1981.

MALMIERCA, J. L. M. **Manual de condicionamiento y biofeedback de la actividad electrodérmica**. 85^a ed. Universidad Pontificia de Salamanca, 1986.

MICROSOFT. Tour pelos recursos do IDE do Visual Studio. Disponível em: <<https://docs.microsoft.com/pt-br/visualstudio/ide/visual-studio-ide>>. Acesso em: 6/11/2017.

MIKOSCH, P.; HADRAWA, T.; LAUBREITER, K.; et al. **Effectiveness of respiratory-sinus-arrhythmia biofeedback on state-anxiety in patients undergoing coronary angiography**. 2010.

MIOTEC. Você sabe o que é Biofeedback? Disponível em:

<<http://blog.miotec.com.br/voce-sabe-o-que-e-biofeedback/>>. Acesso em: 2/9/2017.

MONOGAME. About MonoGame. Disponível em: <<http://www.monogame.net/about/>>. Acesso em: 9/11/2017.

MYSQL. **MySQL Workbench**. 2017.

NORMAN, D. A.; W. DRAPER, S. **User Centered System Design: New Perspectives on Human-computer Interaction**. 1^a ed. New York: 1986, 1986.

NOVELETTO, F.; FILHO, P. B.; SOARES, A. V. Low Cost Biofeedback System for Muscular Strength Analysis and Training. **IEEE Latin America Transactions**, v. 14, n. 2, p. 575–581, 2016. <https://doi.org/10.1109/TLA.2016.7437195>

OGRIM, G.; HESTAD, K. A. Effects of neurofeedback versus stimulant medication in attention-deficit/hyperactivity disorder: a randomized pilot study. **Journal of child and adolescent psychopharmacology**, v. 23, n. 7, p. 448–57, 2013. <https://doi.org/10.1089/cap.2012.0090>

PAL SINGH, G.; KAUR, J. Biofeedback and its clinical efficacy in patients with anxiety disorders: A brief review. **Eastern Journal of Psychiatry**, v. 10(1&2), p. 47–50, 2007.

PAUL, M.; GARG, K. The effect of heart rate variability biofeedback on performance psychology of basketball players. **Applied psychophysiology and biofeedback**, v. 37, n. 2, p. 131–144, 2012. <https://doi.org/10.1007/s10484-012-9185-2>

PEDro - Physiotherapy evidence database. Disponível em: <<https://www.pedro.org.au/>>. Acesso em: 15/10/2017.

POP-JORDANOVA, N.; GUCEV, Z. Game-based peripheral biofeedback for stress assessment in children. **Pediatrics International**, v. 52, n. 3, p. 428–431, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1442-200X.2009.02978.x>

PREECE, J.; ROGERS, Y.; SHARP, E.; et al. **Human-Computer Interaction**. Addison-Wesley, 1994.

PRESSMAN, R. S. **Engenharia de Software**. 7^a ed. New York, 2011.

PUSENJAK, N.; GRAD, A.; TUSAK, M.; LESKOVSEK, M.; SCHWARZLIN, R. Can biofeedback training of psychophysiological responses enhance athletes' sport performance? A practitioner's perspective. **The Physician and sportsmedicine**, v. 43, n. 3, p. 287–299, 2015. <https://doi.org/10.1080/00913847.2015.1069169>

ROCHA, M. M.; PRETTE, Z. A. P. DEL; PRETTE, A. DEL. Placebo na pesquisa psicológica: algumas questões conceituais, metodológicas e ética. **Revista Brasileira de Terapias Cognitivas**, v. 4, p. 2, 2008.

RODRIGUES, A. M. M.; BÉRZIN, F.; SIQUEIRA, V. C. V. Análise eletromiográfica dos músculos masseter e temporal na correção da mordida cruzada posterior. **R Dental Press Ortodont Ortop Facial**, p. 55–62, 2006.

ROSSI, A. M. Clínica de Estresse e Biofeedback: Biofeedback. Disponível em: <<http://www.anamrossi.com.br/biofeedback.html>>. Acesso em: 27/8/2017.

RUGH, J. D. Instrumentation in biofeedback. In: R. J. Gatchel; K. P. Price (Eds.); **Clinical Applications of Biofeedback: Appraisal and Status**, Pergamon General Psychology Series., 1979.

SÁ, Â. A. R. **Uma Proposta de Sistema Computacional em Tempo Real para Biofeedback**. 2004. 143 f. Universidade Federal de Uberlândia. 2004.

SENIAM. European Recommendations for Surface ElectroMyoGraphy. Disponível em: <<http://www.seniam.org/>>. Acesso em: 4/12/2018a.

SENIAM. Recommendations for sensor locations in arm or hand muscles. Disponível em: <<http://www.seniam.org/>>..

SHERLIN, L.; MUENCH, F.; WYCKOFF, S. Respiratory sinus arrhythmia feedback in a stressed population exposed to a brief stressor demonstrated by quantitative EEG and sLORETA. **Applied psychophysiology and biofeedback**, v. 35, n. 3, p. 219–228, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10484-010-9132-z>

SIMÓN, M. A. Biofeedback. In: E. Santos (Ed.); **Manual de técnicas de terapia e modificação do comportamento**. 2^a ed., p.335–358, 1996.

SKINNER, B. F. **Science and human behavior**. New York/London, 1965.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software**. 9^a ed. São Paulo, 2011.

STERNBERG, R. J. **Psicologia Cognitiva**. Porto Alegre: Artmed, 2008.

STRUNK, K. K.; SUTTON, G. W.; BURNS, N. S. Beneficial effects of accurate and false brief biofeedback on relaxation. **Perceptual and motor skills**, v. 109, n. 3, p. 881–886, 2009. <https://doi.org/10.2466/pms.109.3.881-886>

SYSTEM, E. EMG System. Disponível em: <<http://www.emgsystem.com.br/>>. Acesso em: 6/11/2017.

TANG, Y.; LIN, X.; LIN, X.-J.; et al. Therapeutic efficacy of neuromuscular electrical stimulation and electromyographic biofeedback on Alzheimer's disease patients with dysphagia. **Medicine**, v. 96, n. 36, p. e8008, 2017. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000008008>

TAVARES, M. C. **Monitor de atividade cerebral baseado em microcontrolador.** 1997. 143 f. Universidade Federal de Santa Catarina. 1997.

UMETANI, K. E. N.; SINGER, D. H.; CRATY, R. M. C.; ATKINSON, M. Twenty-Four Hour Time Domain Heart Rate Variability and Heart Rate: Relations to Age and Gender Over Nine Decades. **Jornal do American College of Cardiology**, v. 31, n. 3, p. 593–601, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(97\)00554-8](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(97)00554-8)

VALENZA, G.; NARDELLI, M.; LANATA, A.; et al. Predicting Mood Changes in Bipolar Disorder Through Heartbeat Nonlinear Dynamics. **IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics**, v. 20, n. 4, p. 1034–1043, 2016. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2016.2554546>

VAZQUEZ, C. E.; SIMÕES, G. S. **Engenharia de Requisitos: Software Orientado ao Negócio.** 1^a ed. 2016, 2016.

VILLANUEVA, C. **Manual de biofeedback.** Madrid: Fundación Mapfre, 1988.

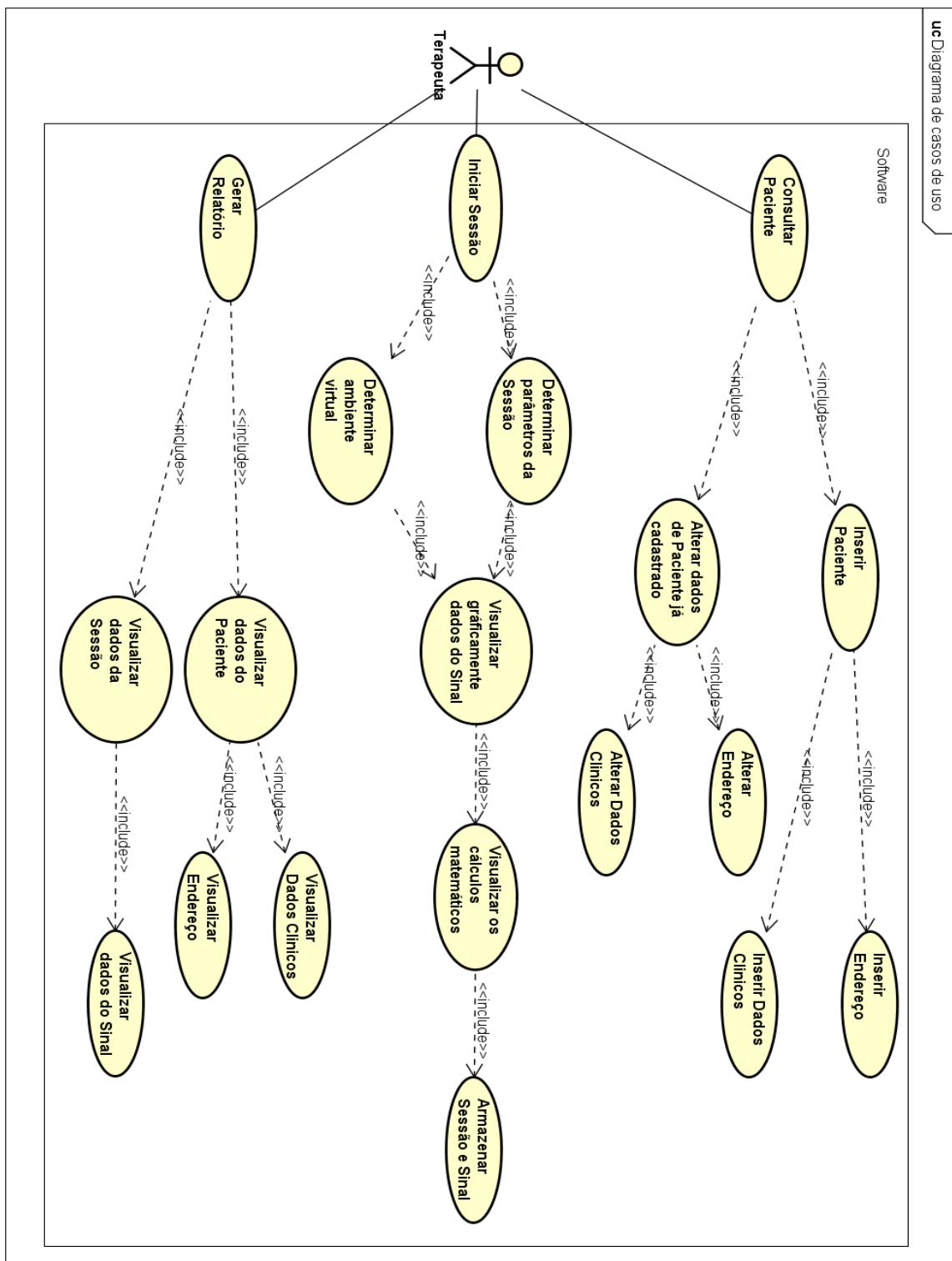
VOS, T.; BARBER, R. M.; BELL, B.; et al. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 301 acute and chronic diseases and injuries in 188 countries, 1990–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. **The Lancet**, v. 386, n. 9995, p. 743–800, 2015. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)60692-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60692-4)

YAHAV, R.; COHEN, M. Evaluation of a cognitive-behavioral intervention for adolescents. **International Journal of Stress Management**, v. 15, n. 2, p. 173–188, 2008. <https://doi.org/10.1037/1072-5245.15.2.173>

ZUCKER, T. L.; SAMUELSON, K. W.; MUENCH, F.; GREENBERG, M. A.; GEVIRTZ, R. N. The effects of respiratory sinus arrhythmia biofeedback on heart rate variability and posttraumatic stress disorder symptoms: a pilot study. **Applied psychophysiology and biofeedback**, v. 34, n. 2, p. 135–143, 2009. <https://doi.org/10.1007/s10484-009-9085-2>

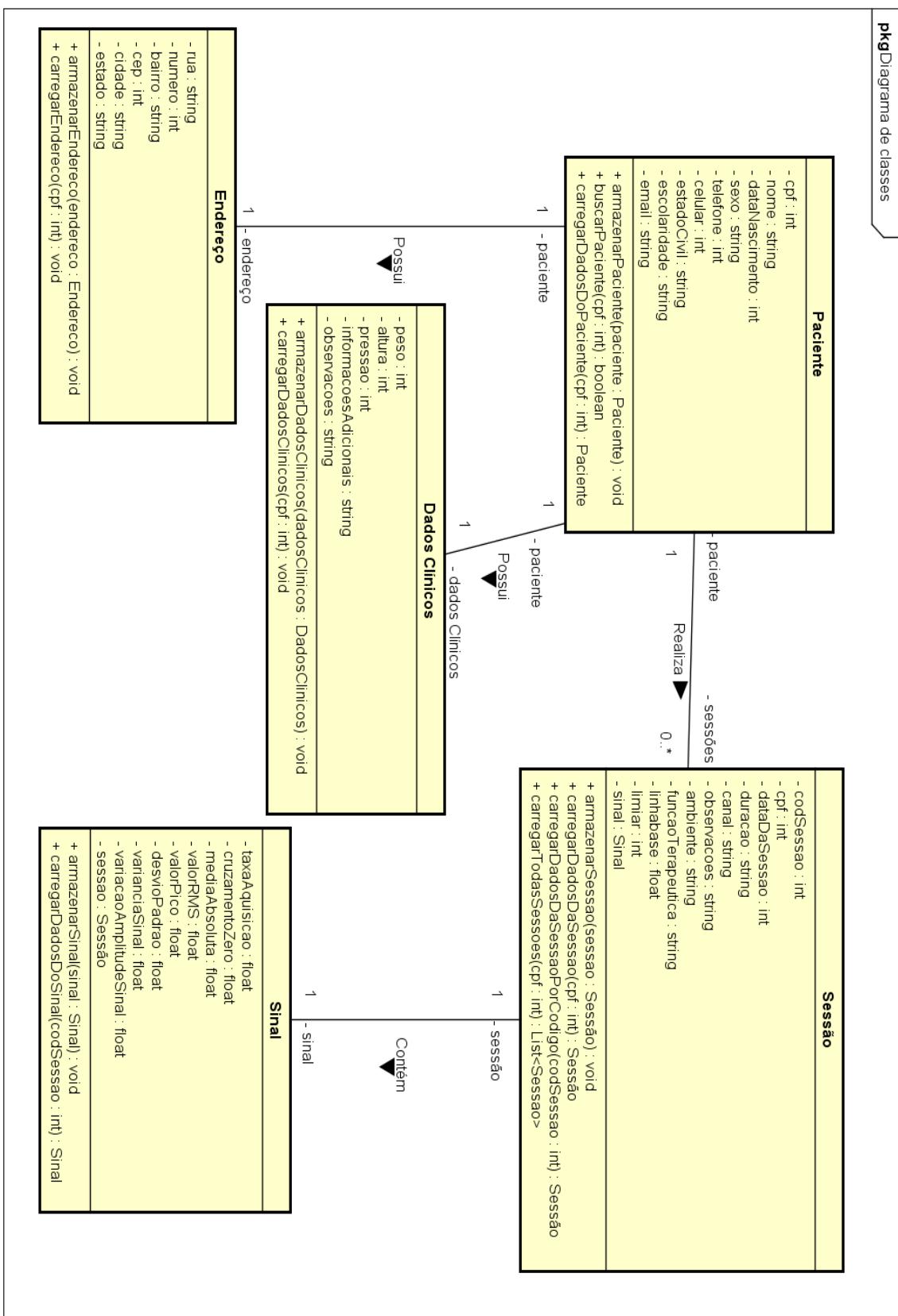
APÊNDICES

APÊNDICE A - DIAGRAMA DE CASOS DE USO

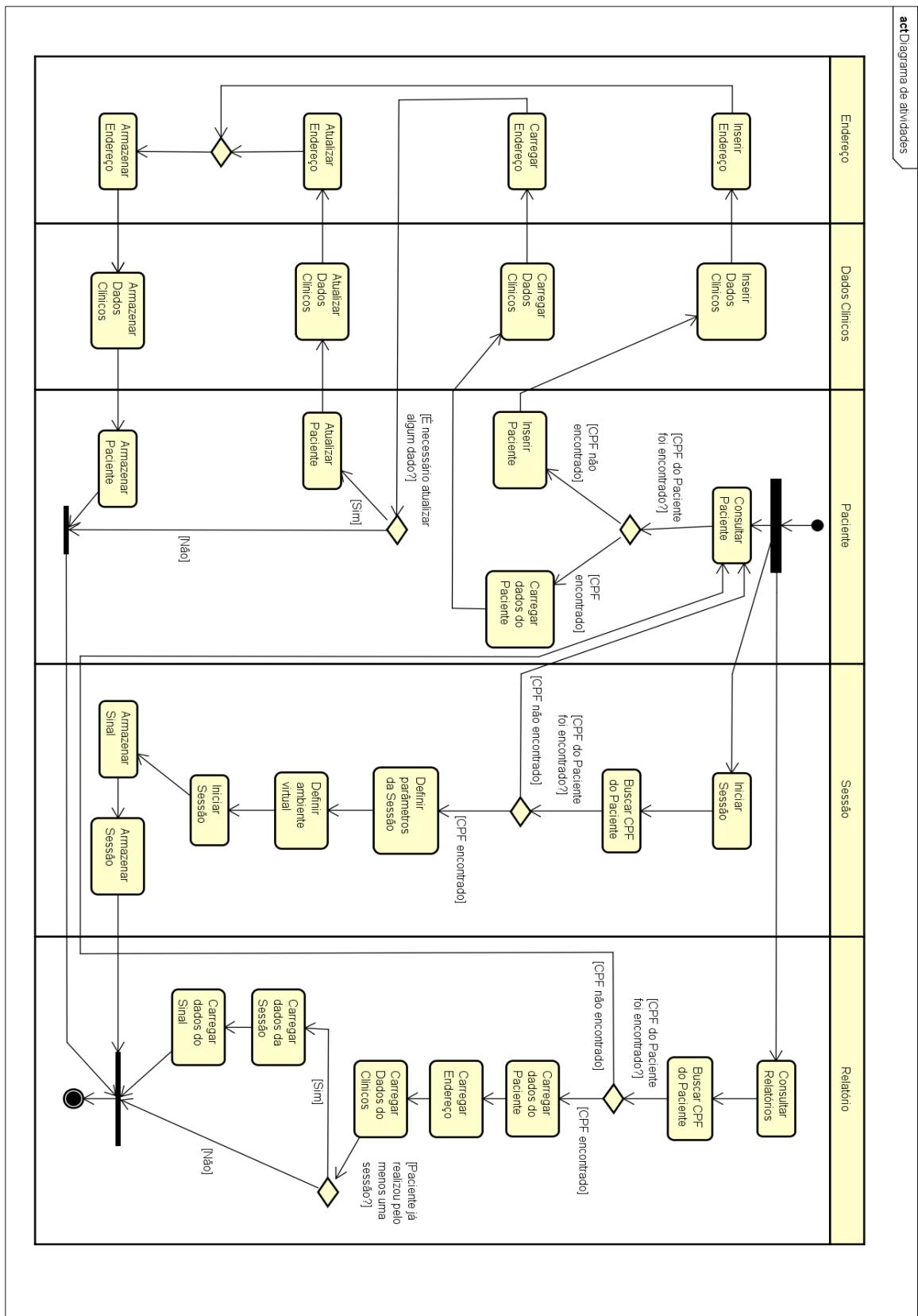


Fonte: autoria própria.

APÊNDICE B - DIAGRAMA DE CLASSES



APÊNDICE C - DIAGRAMA DE ATIVIDADES



Fonte: autoria própria.