

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB  
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO  
CAMPUS DE VITÓRIA DA CONQUISTA

**ESTUDO SOBRE BIOSENSORES EM INTERFACE CÉREBRO-MÁQUINA**

MARLOVICH VAZ DANTAS

VITÓRIA DA CONQUISTA - BA  
DEZEMBRO, 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB  
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO  
CAMPUS DE VITÓRIA DA CONQUISTA

**ESTUDO SOBRE BIOSENSORES EM INTERFACE CÉREBRO-MÁQUINA**

MARLOVICH VAZ DANTAS

Orientador(a): HÉLIO LOPES DOS SANTOS  
Co-orientador(a): ALZIRA FERREIRA DA SILVA

Monografia de conclusão de curso  
apresentada ao Departamento de  
Ciências Exatas (DCE) da Universidade  
Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB)  
para obtenção do título de Bacharel em  
Ciência da Computação.

VITÓRIA DA CONQUISTA - BA  
DEZEMBRO, 2015

## AGRADECIMENTOS

Minha fascinação pela ciência e tecnologia me fez surfar sobre uma onda de possibilidades em produções monográficas. Encontrei no macaréu da tecnologia com a biologia a direção que procurava, e aqui darei meu primeiro passo na preamar da biotônica.

Agradeço a minha família por acreditar em meu potencial e me dar todo apoio nessa jornada de descobertas em que me propus. Meus pais Mirian e Moises Dantas que sempre confiaram nas minhas decisões, me ouviram e me iluminaram com suas poucas e sábias palavras e minha irmã Milenna que dividiu muito do seu tempo ao meu lado. A todos os familiares que acompanharam minha trajetória acadêmica, mesmo que a distância.

Agradeço ao professor Hélio por sua paciência e orientação nesta monografia e nas matérias em que tive a honra de ser seu aluno, agradeço a professora Alzira que me deu orientações não apenas acadêmicas como para a vida e sob a luz da auto gerência agradeço ao “pontíficuo” professor Francisco.

À Celina, secretária do colegiado de Ciência da Computação, que é a pessoa mais dedicada, iluminada e atenciosa que conheci nesses tantos anos de curso.

Agradeço aos professores: Adilson, Cátia, Fábio, Fabrício, Maísa e Stenio. Que nesta ordem alfabética em que coloco, me fazem recordar do meu gradual crescimento e contribuição que cada um teve na minha formação.

Nesses quase 10 anos de curso tenho que agradecer muito a muitos, não apenas aos envolvidos diretamente em minha graduação, mas também aos amigos e todos aqueles que semearam meu desejo pelo conhecimento. Meus agradecimentos serão mais uma vez em ordem alfabética, para que saibam que não é a ordem que determina o progresso, mas o que individualmente somamos para que ele ocorra. Agradeço a Adriano, Akira, Bruno, Diego, Danilo, Dino, Diogo, Doug, Esdras, Fabiana, Fran & Henrique, Hilário, Jadson, Lucas, Luiz, Nadja, Marcelo, Marcos, Orlando, Osinaldo, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y e Z.

“Como cientista, mantenha sua mente aberta para qualquer fenômeno possível restante no grande desconhecido. Mas nunca se esqueça de que a sua profissão é a exploração do mundo real, sem preconceitos ou ídolos mentais aceitos, e que a verdade verificável é a única moeda nesse reino.”

Edward O. Wilson

## RESUMO

Este trabalho aborda os constantes avanços no estudo dos biosensores, refletindo na diversificação de sua aplicabilidade. A utilização em instrumentos de transdução de sinais neurais para entrada de comandos é um dos direcionamentos dado a estes artefatos, proporcionando inovações de significativa importância aos estudos da IHC (Interface Homem-Máquina).

Biosensores se utilizam de métodos analíticos com um elemento bioativo e um transdutor para detecção e quantificação de substâncias bioquímicas, os analitos. Neste trabalho irei fazer um estudo comparativo, observando os métodos convencionalmente utilizados na identificação de compostos bioquímicos e sinais eletroquímicos, daqueles que estão atualmente operando no âmbito da instrumentação médica e em equipamentos comercializados para uso recreativo, na área das ICM (Interface Cérebro-Máquina).

Palavras chave: Interface Homem-Máquina, Estudo comparativo, Biosensores, Interface Cérebro-Máquina.

## ABSTRACT

This work deals with the constant advances in the study of biosensors, reflecting the diversification of its applicability. The use of instruments in transduction of neural signals to command input is one of the directions given to these artifacts, providing significant innovations importance to the IHC studies (Human Machine Interface).

Biosensors are analytical methods for use with a bioactive element and a transducer for detection and quantification of biochemical substances, analytes. This work will make a comparative study, noting the methods conventionally used to identify biochemicals and electrochemical signals, those who are currently operating under the medical instrumentation and equipment sold for recreational use in the area of ICM (Brain Machine Interface).

Keywords: Human-Machine Interface, Comparative study, biosensors, Brain Machine Interface.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – Projeto de interface da Apple.....	17
FIGURA 2.2 – Modelo de funcionamento do LightRing.....	18
FIGURA 2.3 – Demonstração do RoomAlive.....	18
FIGURA 2.4 – Protótipo em teste do Skin Buttons.....	19
FIGURA 2.5 – Protótipo em teste do HaptoMime.....	19
FIGURA 2.6 – Exibição dos componentes do Leap Motion.....	20
FIGURA 2.7 – Protótipo de RLS da Texas Instruments.....	21
FIGURA 3.1 – Diagrama de blocos de um biosensor.....	23
FIGURA 3.2 – Tipos de Biosensores.....	25
FIGURA 3.3 – Esquema funcional de uma ICM.....	26
FIGURA 3.4 – Técnicas de medida de sinais fisiológicos do cérebro.....	27
FIGURA 4.1 – MindFlex e Emotiv EPOC.....	35
FIGURA 4.2 – Exemplo de sinal NIRS e Sonda PortaLite.....	36
FIGURA 4.3 – Membros do projeto Unlock trabalhando com um paciente.....	37
FIGURA 4.4 – Fone de ouvido personalizado com três eletrodos no canal auditivo.....	38
FIGURA 4.5 – Modelo de um dispositivo CerePlex W.....	39

## LISTA DE ABREVIATURAS

BOLD – Blood Oxygenation Level Dependent

CAD – Conversor Analógico-Digital

CCD – Charge Coupled Device

CLI – Command Line Interface

CMOS – Complementary Metal Oxide Semiconductor

EEG – Eletroencefalografia

ECG – Eletrocardiograma

ECoG – Eletrocorticografia

EMG – Eletromiografia

EOG – Eletrooculografia

fMRI – Imagem Funcional de Ressonância Magnética

GUI – Graphical User Interfaces

ICC – Interface Cérebro-Computador

ICM – Interface Cérebro-Máquina

IHC – Interface Homem-Computador

IND – Interface Neural Direta

MEG – Magnetoencefalografia

NIRS – Espectroscopia por Infravermelho Próximo

NUI – Natural User Interface

RLS – Reconhecimento de Linguagem de Sinais

SDK – Software Development Kit

TSI – Índice de Saturação do Tecido

## SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO.....	12
1.1 – CONTEXTUALIZAÇÃO.....	13
1.2 – MOTIVAÇÃO.....	13
1.3 – OBJETIVOS.....	13
1.3.1 – OBJETIVO GERAL.....	14
1.3.2 – OBJETIVO ESPECÍFICO.....	14
1.4 – ORGANIZAÇÃO DA MONOGRAFIA.....	14
2 – INTERFACE CÉREBRO-MÁQUINA.....	15
2.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	15
2.2 – INTERFACE DE USUÁRIO.....	15
2.3 – EVOLUÇÃO DAS INTERFACES.....	16
2.4 – FUTURO DAS INTERFACES DE USUÁRIO.....	17
2.5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	21
3 – SENSORES.....	22
3.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	22
3.2 – TRANSDUTORES.....	22

3.3 – BIOSENSORES.....	23
3.3.1 – TIPOS DE BIOSENSORES.....	24
3.4 – BIOSENSORES EM ICM.....	26
3.4.1 – BIOSENSORES DE ATIVIDADE ELETROFISIOLÓGICA.....	28
3.4.2 – BIOSENSORES DE ATIVIDADE HEMODINÂMICA.....	30
3.5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	31
4 – DISPOSITIVOS ICM.....	32
4.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	32
4.2 – DISPOSITIVOS ICM DE USO RECREATIVO.....	32
4.3 – DISPOSITIVOS ICM DE USO MÉDICO.....	36
4.4 – ESTUDO DOS BIOSENSORES EM DISPOSITIVOS ICM.....	40
4.5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
5 – CONCLUSÃO DOS ESTUDOS.....	42
5.1 – CONSIDERAÇÕES.....	42
5.2 – CONCLUSÃO.....	42
5.3 – TRABALHOS FUTUROS.....	43
REFERÊNCIAS.....	44

## 1 - INTRODUÇÃO

As tecnologias convencionais de entrada de dados computacionais se limitam a interações físicas do usuário com periféricos, como a digitação em teclados ou telas sensíveis ao toque e manipulação de mouse ou joystick. Na informática o termo “periférico” se aplica a qualquer equipamento ou acessório ligado ao computador, sendo considerado como dispositivos de entrada aqueles que enviam informação para o computador. [JAGUARA]

A dimensão física, que inclui os elementos manipuláveis, comumente envolve interface tátil e sonora para a entrada de dados, relevando inúmeras possibilidades de atuação do usuário, que mecaniza sua participação com a pré-ciência operativa do mouse, teclados e comandos de voz, dentre outras adaptações para “comunicação” com a máquina.

Empresas e universidades estão investindo em novas abordagens de interação humano-computador (IHC). O foco das pesquisas é a naturalização da interação, tornando mais fluida, real e personalizada, além de suprir a carência em interfaces para usuários com deficiências ou necessidades especiais [LEIR2002]. Nessa caminhada para inovações acessíveis, que sejam abraçadas pelos usuários, o desenvolvedor deve estar em sintonia com os princípios de usabilidade, mas acima de tudo estar atualizado frente as tecnologias envolvidas na captação e transmissão dos comandos.

Os sensores são as peças chave em todas as tecnologias atuais e no estudo das futuras ferramentas de IHC. Sensores CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) ou CCD (*Charge Coupled Device*) são encontrados nos mouses para captação dos movimentos, sensores de pressão estão nos teclados e diversas tecnologias de sensoriamento são utilizadas nas telas sensíveis ao toque e no touchpad dos notebooks [INFOWES]. No limiar das inovações em interfaces de usuário encontramos os biosensores, atuando em um ramo prolífico da IHC [GARB2010].

O objetivo de um biosensor é produzir um sinal elétrico que é proporcional em magnitude ou frequência à concentração do analito (substância química em análise). Vários estudos e aplicações foram realizados desde o primeiro biosensor proposto em 1962 [BIOS2010].

O sistema neural humano gera, transmite e processa sinais eletroquímicos em diferentes partes do corpo, portanto, esses sinais podem ser captados e “interpretados” com o uso de biosensores específicos. Sob esta perspectiva originou-se nos anos 70 as primeiras pesquisas em interfaces neurais direta (IND) [KASPERS].

As interfaces cérebro-máquina (ICM) são uma derivação das interfaces neurais diretas e lidam apenas com o cérebro, as IND lidam com diferentes partes do sistema neural, atuando na conexão direta ou indireta.

Na ICM, todos os métodos de “conectar” o usuário, depende dos sensores utilizados. O estudo dos sensores varia em termos de imersão (invasivo ou não invasivo) e analito (eletroquímico ou metabólico). Sendo estas as principais características que distingue a eficiência dos biosensores na velocidade, resolução, precisão e sensibilidade. Estes critérios tornam-se fundamentais para avaliar inovações em interfaces cérebro-computador, sua facilidade de utilização e duração do período de treino.

## 1.1 – CONTEXTUALIZAÇÃO

Este trabalho delimita-se no estudo e comparativo dos biosensores que atuam na ICM, identificando os analitos e imersão dos sensores. Serão listados os diversos métodos atualmente utilizados no âmbito da instrumentação médica, na área da Interface Cérebro-Computador e equipamentos comerciais para uso recreativo. Serão abordados os avanços em interfaces de usuário para efeito comparativo das perspectivas futuras da IHC e evolução das pesquisas em sensores e biosensores na ICM. Todo o conteúdo deste trabalho é retirado de artigos, trabalhos científicos e endereço eletrônico de pesquisadores e Universidades envolvidas em pesquisas no campo da IHC e ICM, com busca nas páginas de pesquisas do Google e Wikipédia.

## 1.2 - MOTIVAÇÃO

As tecnologias de ICM auxiliam na complementação do potencial natural humano, mas também podem atuar de forma complementar [UNIS2007]. Ao devolver capacidade física deteriorada, com próteses e dispositivos assistivos, ou no uso recreativo, as tecnologias de ICM se popularizam, e podem ser direcionadas a extrapolar habilidades naturais, com aumento artificial dos limites humanos. Sistemas funcionais de melhoramento humano estarão disponíveis em poucas décadas, e estar envolvido nesta prospecção tecnológica é minha motivação.

## 1.3 – OBJETIVOS

### 1.3.1 – OBJETIVO GERAL

Este trabalho versa sobre a aquisição de sinais dos biosensores nos dispositivos de interfaces cérebro máquina. O enfoque é dado no estudo dos biosensores de acordo com o elemento de análise e a imersão dos sensores no corpo do usuário, sendo observado velocidade, resolução, precisão e sensibilidade, características que refletem na facilidade de utilização e tempo de treino dos usuários. Analisar as tecnologias existentes no mercado e em desenvolvimento, identificando os sensores e princípios atuadores no processo de captação de sinais para interação do usuário e consequente comparativo dos avanços da IHC com a ICM.

### 1.3.2 – OBJETIVO ESPECÍFICO

O objetivo específico deste trabalho é estudar as atuais tecnologias em interface cérebro máquina, focando nos métodos de captação dos sinais neurais, que se utilizam dos biosensores eletroquímicos e hemodinâmicos, para entrada de comandos.

### 1.4 – ORGANIZAÇÃO DA MONOGRAFIA

No primeiro capítulo temos a introdução e contextualização da proposta deste trabalho, sendo explicitada minha motivação nos estudos da ICM e meus objetivos futuros com esta produção.

No segundo capítulo é feita uma análise da ICM e sua participação na evolução da IHC, abordando as tecnologias já disponibilizadas, os protótipos em desenvolvimento e projetos futuros.

No terceiro capítulo é apresentada as características de um sensor, princípio de funcionamento e sua evolução tecnológica até os atuais biosensores, utilizados nos dispositivos de ICM, identificando as vantagens e desvantagens de cada método.

No quarto capítulo é listada algumas interfaces ICM de uso recreativo e médico, identificando os atuadores na captação dos sinais, características e recursos para distinção em aprimoramentos e personalizações.

No quinto capítulo é feito o estudo dos biosensores analisando as características abordadas e os dispositivos de ICM, possuidores destes artefatos, observando a possibilidade de integração dos métodos, atualmente utilizados de maneira distinta, elaborando-se assim a conclusão das considerações propostas pelo trabalho.

## 2 – INTERFACE CÉREBRO-MÁQUINA

Em 1924, Hans Berger conectou dois elétrodos ao couro cabeludo de um paciente e detectou uma pequena corrente elétrica usando um galvanômetro balístico, dando início aos estudos em EEG (Eletroencefalografia) [WIKIELEC].

Com a captação dos sinais elétricos por eletrodos conectados ao escalpo, e amplificados por circuitos diferenciais é gerado um traçado gráfico em ondas. A EEG estuda a frequência, comprimento, amplitude e período das ondas cerebrais, esta ferramenta é a precursora das atuais tecnologias em ICM e continua sendo muito importante na leitura dos sinais eletroquímicos.

A ICM detecta e traduz a atividade neural em sequencias de comandos para computadores e próteses de acordo com as intenções do cérebro do usuário. O objetivo inicial deste tipo de interação é restaurar funções motoras em pacientes com amputações ou lesões neurológicas. [GARB2010]

### 2.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O potencial interativo da ICM não seria retido a pesquisas médicas, sendo visível sua promissora aplicabilidade em interfaces computacionais, suprimindo carências, como periféricos de entrada para deficientes, além da notável praticidade na execução de comandos por arbítrio. A ICM torna-se assim uma poderosa extensão da IHC nas futuras e as já presentes, interfaces de usuário.

### 2.2 – INTERFACE DE USUÁRIO

Interface é o nome dado a toda a porção de um sistema com a qual um usuário mantém contato ao utilizá-lo, tanto ativa quanto passivamente. A interface engloba tanto software quanto hardware (dispositivos de entrada e saída, tais como: teclados, mouse, tablets, monitores, impressoras e etc.). Considerando a interação como um processo de comunicação, a interface pode ser vista como o sistema de comunicação utilizado neste processo. [PRAT2006]

Com os estudos de IHC, as interfaces passaram a ser compreendidas como ferramentas que devem auxiliar ou permitir ao usuário desempenhar tarefas com a máxima eficiência e facilidade.

O uso de imagens, símbolos e ícones, deu poder a representação visual que caracteriza as interfaces gráficas ou GUIs (*Graphical User Interfaces*), tornando os sistemas digitais mais acessível que as anteriores linhas de comando, as CLI (*Command Line Interface*). Os aplicativos exigiam conhecimentos de informática para interação em linguagem de comandos, e gradualmente as interfaces foram aproximando-se da forma de pensar do usuário com ações explicitadas por imagens e sons.

A mesma ênfase na representação visual, que aproxima o usuário da interface, pode não funcionar para os cegos se não obedecer a padronizações como as propostas pelas regras de acessibilidade para a Web [LEIR2002]. O mouse, por exemplo, é um dispositivo cujo caráter visual funciona como grande fator de exclusão dos usuários cegos, que não têm como estabelecer a relação entre os movimentos de suas mãos, o cursor e os ícones na tela. Para o cego, que precisa compensar a falta de visão, reforçando a sua relação com os outros sentidos, o teclado é uma ferramenta de entrada de dados bem mais poderosa, pois pode ser memorizado e operado através do tato [LEIR2002].

Universalidade é um requisito pouco atendido pelas atuais interfaces de usuário. Os deficientes sensoriais ou físicos são subtraídos nos estudos para desenvolvimento da maioria das ferramentas computacionais, ou direcionados à utilização de softwares e hardwares específicos a suas necessidades. Diferenças culturais, etárias, de escolaridade, histórico profissional, habilidade e experiência com tecnologias, são algumas das características que também se enquadram na complexa adequação das interfaces à universalidade. Mudanças nessa perspectiva são palpáveis com os avanços tecnológicos e evolução nos estudos de usabilidade destas inovações na IHC.

## 2.3 – EVOLUÇÃO DAS INTERFACES

A evolução das interfaces se alinha a evolução dos sensores e a criatividade dos desenvolvedores na integração desses artefatos. Acompanhando este progresso, as pesquisas em IHC acolhem tanto o usuário padrão, quanto os portadores de deficiências, e outras necessidades, conduzida pela modernização dos sistemas operacionais. A liberação total ou parcial dos códigos, para colaboração da comunidade científica, corrobora a adequação dos projetos aos requisitos de usabilidade, como personalização para operacionalidade, previstos na IHC, sendo comum encontrar SDKs (*Kit de Desenvolvimento de Softwares*) disponibilizados por alguns fabricantes das modernas interfaces comercializadas.

No desenvolvimento de uma interface deve ser calculada a quantidade de esforço que o usuário despenderá para prover as entradas ao sistema e interpretar as saídas, além de quanto esforço ele precisará para aprender o procedimento. Além de considerar a psicologia e a fisiologia dos utilizadores para tornar os sistemas mais efetivos, eficientes e satisfatórios. Deve-se também objetivar a simplicidade e abrangência de atuação no design de dispositivos. A usabilidade está principalmente associada as características da interface do utilizador, mas também pode estar associada com a funcionalidade do produto.

## 2.4 – FUTURO DAS INTERFACES DE USUÁRIO

A utilização de habilidades não computacionais já existentes no usuário, inatas ou adquiridas, é o atual investimento para o futuro da IHC, identificada como NUI (*Natural User Interface*) [GARB2010]. Diversos tipos de dispositivos de entrada intuitivos, por toque, gestos ou voz, remetem os usuários ao mundo real, diminuindo o tempo de aprendizado e melhorando o nível de resposta.

No imaginário futuro acessível das interfaces revolucionárias podemos citar algumas como o multi-touch da Apple com comando de voz, sensor de força e reconhecimento gestual. [APPL2008]

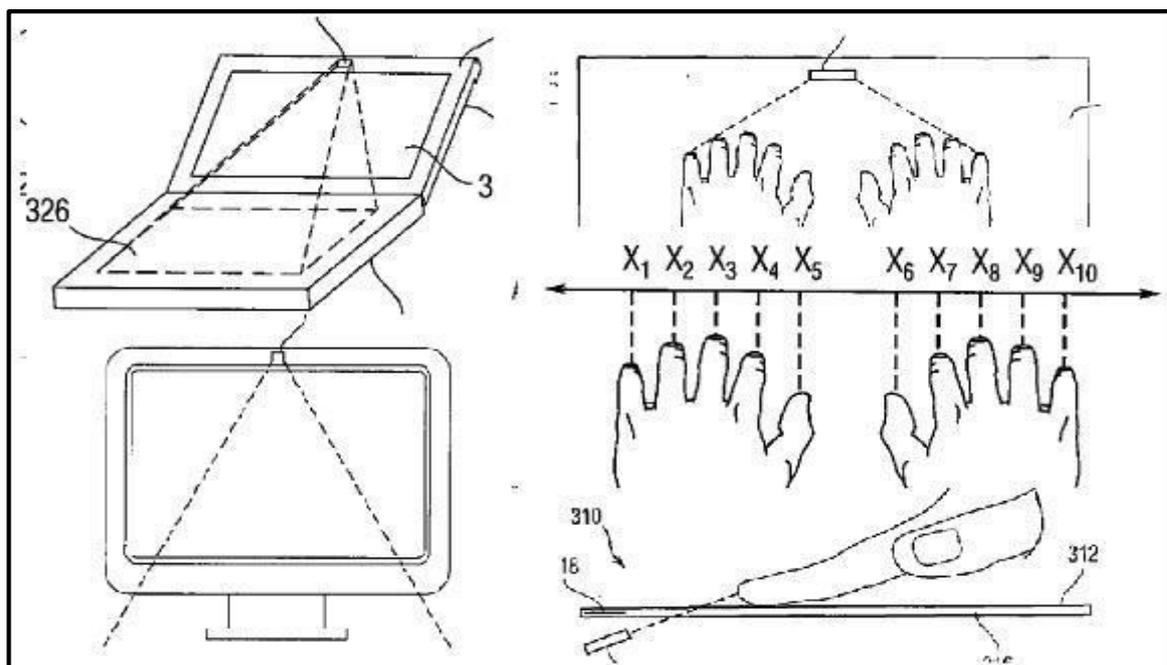


FIGURA 2.1 – Projeto de interface da Apple [APPL2008]

O LightRing, um dispositivo que consiste em um sensor infravermelho de proximidade para medir a flexão dos dedos e um giroscópio de 1 eixo de rotação para medir movimentos do dedo. [LIGH2014]

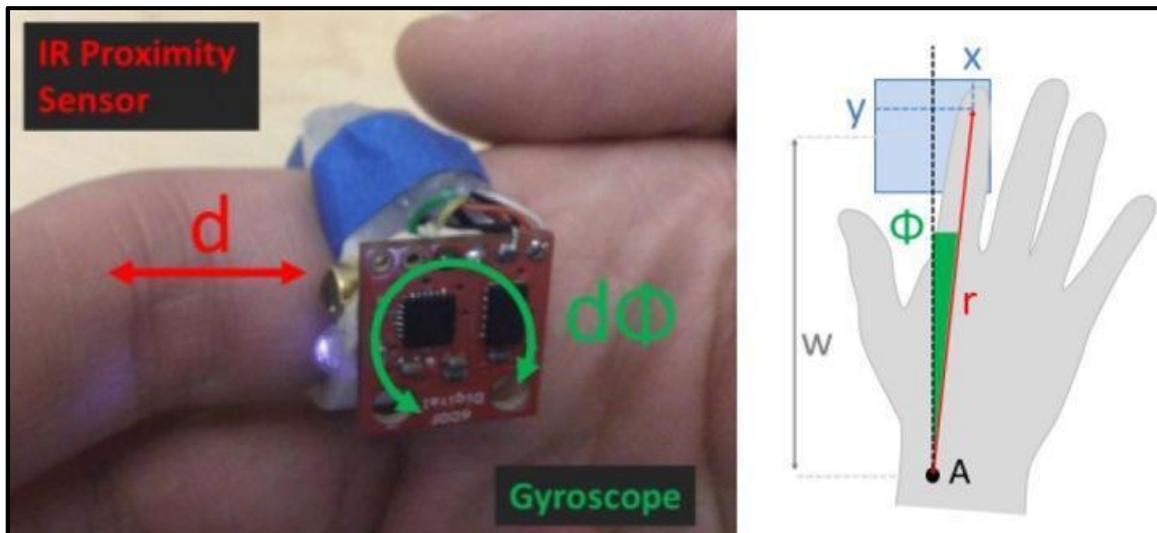


FIGURA 2.2 – Modelo de funcionamento do LightRing [LIGH2014]

O RoomAlive que se utiliza de múltiplas câmeras de profundidade e projetores de mapeamento espacial para criar uma tela interativa [MICR2014], ambos da Microsoft, assim como o já conhecido Kinect.



FIGURA 2.3 – Demonstração do RoomAlive [MICR2014]

Grandes empresas são as maiores investidoras, mas não são as únicas que inovam no desenvolvimento de novos métodos de interação e manipulação de dados. As universidades estão trabalhando neste seguimento, como a Universidade Norte Americana Carnegie Mellon com o projeto Skin Buttons utilizando projetores em miniatura para exibir ícones interativos. [CONC2014]



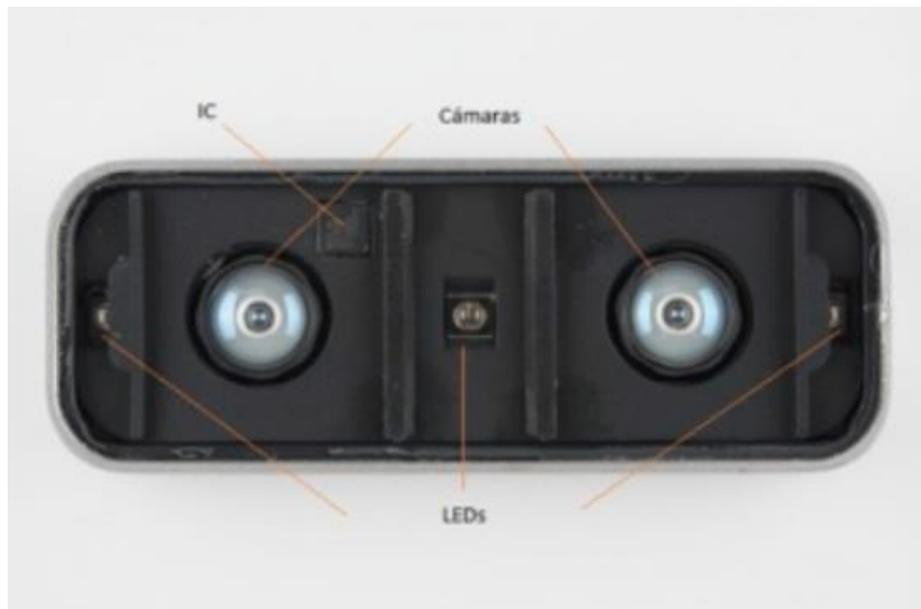
FIGURA 2.4 – Protótipo em teste do Skin Buttons [CONC2014]

O HaptoMime, da Universidade de Tóquio, é um dispositivo que usa ultrassom para criar feedback tátil no ar, o usuário sente como se tocasse uma imagem flutuante (produzida por um LCD escondido e um espelho transmissivo angular). [HAPT2014]



FIGURA 2.5 – Protótipo em teste do HaptoMime [HAPT2014]

O Leap Motion é uma interface que conta com duas câmeras, cada uma delas tem um sensor de luz, monocromático sensível ao infravermelho. Esses sensores podem operar em velocidades de até 200 fps. O dispositivo ilumina a área coberta com uma luz infravermelha emitida por três LEDs com um comprimento de onda de 850 nm. Esta área de cobertura é limitada pelo ângulo de visão do sensor permitindo a captura de gestos e movimento das mãos com alta precisão, tornando-se interessante para tecnologias RLS. O Leap Motion disponibiliza SDK para desenvolvedores. [LEAP2015]



**FIGURA 2.6 – Exibição dos componentes do Leap Motion [LEAP2015]**

E a tecnologia vestível que combina sensores de movimento e a medição da atividade elétrica gerada pelos músculos para interpretar gestos com as mãos, desenvolvida em colaboração com a Texas Instruments, representa um interesse crescente no desenvolvimento de sistemas de reconhecimento de linguagem de sinais de alta tecnologia (RLS) mas, ao contrário de outras iniciativas recentes, renuncia o uso de uma câmera para capturar gestos.

O sistema faz uso de dois sensores distintos. O primeiro é um sensor de inércia que responde ao movimento, consistindo de um acelerômetro e giroscópio. O sensor mede as acelerações e velocidades angulares da mão e do braço. Este sensor tem um papel importante em discriminar sinais diferentes, capturando orientações da mão do usuário e movimentos da mão e do braço durante um gesto.

O segundo é um sensor de eletromiografia (EMG), este sensor não invasivo mede o potencial elétrico de atividades musculares. Ele é utilizado para distinguir os diversos movimentos dos dedos e os padrões de atividade muscular para a mão e braço, trabalhando em conjunto com o sensor de movimento para fornecer uma interpretação mais precisa do gesto que está sendo assinado. [JAFA2015]



**FIGURA 2.7 – Protótipo de RLS da Texas Instruments [JAFA2015]**

## 2.5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O que estas tecnologias possuem em comum é a utilização de diferentes sensores adaptados às diferentes propostas. A criatividade aliada aos avanços no estudo de sensores capazes de captar as mais diversas atividades mecânicas, térmicas, sonoras, elétricas e biológicas, dentre outras, permite o desenvolvimento de interfaces mais naturais e realísticas, sensíveis, precisas e de respostas rápidas e efetivas, com potencial de ir além de seus objetivos iniciais.

### 3 – SENSORES

Sensor é um artefato que responde a estímulos físico/químico de maneira específica e mensurável analogicamente.

A resolução de um sensor é a menor alteração detectável no quantitativo mensurado e está relacionado com a precisão com a qual é feita a medição. A sensibilidade de um sensor é definida na razão entre o sinal de saída e sua propriedade medida. Um bom sensor obedece às seguintes regras [TERM2013]:

- 1- Sensível à propriedade medida;
- 2- Insensível a qualquer outra propriedade que possa ser encontrada na sua aplicação;
- 3- Não influencia a propriedade medida.

#### 3.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os sensores são classificados pelo tipo de energia que detectam, podendo responder com sinais elétricos. No processo de conversão da energia detectada, em sinal elétrico, outros componentes atuam na conversão e este conjunto é chamado de transdutor [LUIS2005]. Dispositivos de ICM se utilizam de transdutores biossensíveis, denominados biossensores.

#### 3.2 – TRANSDUTORES

Um sensor nem sempre tem as características elétricas necessárias para ser utilizado de imediato em um sistema de controle. Normalmente o sinal de saída deve ser trabalhado antes da sua utilização por outro circuito. Transdutor então é a denominação de um dispositivo completo, utilizado para transformar uma grandeza qualquer em outra que pode efetivamente ser utilizada pelo dispositivo de controle.

Neste sentido o transdutor é uma interface entre o sensor e o circuito de controle, podendo ser composto apenas pelo sensor, pelo sensor + condicionador + transmissor, ou somente sensor + condicionador. Um condicionador é formado por circuitos eletrônicos que executam uma ou mais das seguintes ações: amplificar o sinal do sensor, filtrar os sinais, converter corrente para tensão ou capacidade para tensão, corrigir não-linearidades, etc. O transmissor adapta o sinal do condicionador, sinal esse que é depois transmitido através de cabo coaxial, par trançado, via rádio, wireless, etc. [LUIS2005]

Das diversas formas de energia detectável pelos sensores a energia mecânica esteve nos primeiros passos do processo evolucionário das interfaces de usuário. Atualmente diversos sensores atuam em uma gama de equipamentos com sensibilidade a movimentos, orientação, som, capacitância e resistividade elétrica, dentre outras abordagens para a entrada de comandos computacionais.

Avanços tecnológicos, em métodos de detecção de material biológico, foram os primeiros passos no desenvolvimento de transdutores biossensíveis e a criação dos biossensores. O primeiro biossensor foi desenvolvido por Leland C. Clark em 1962. Em 1975, deu-se início à comercialização dos biossensores com a venda do analisador de glicose em Ohio [GASPAR]. Os biossensores estão na ponta da lança evolucionária dos dispositivos de interface de usuário, destacando-se a ICM.

### 3.3 – BIOSENSORES

Biossensores são dispositivos de método analítico, sem marcadores, que integram uma biocamada, um transdutor elétrico, elementos de condicionamento e processamento do sinal elétrico. O objetivo de um biossensor é produzir um sinal elétrico que é proporcional em magnitude ou frequência à concentração do analito. [BIOS2010]

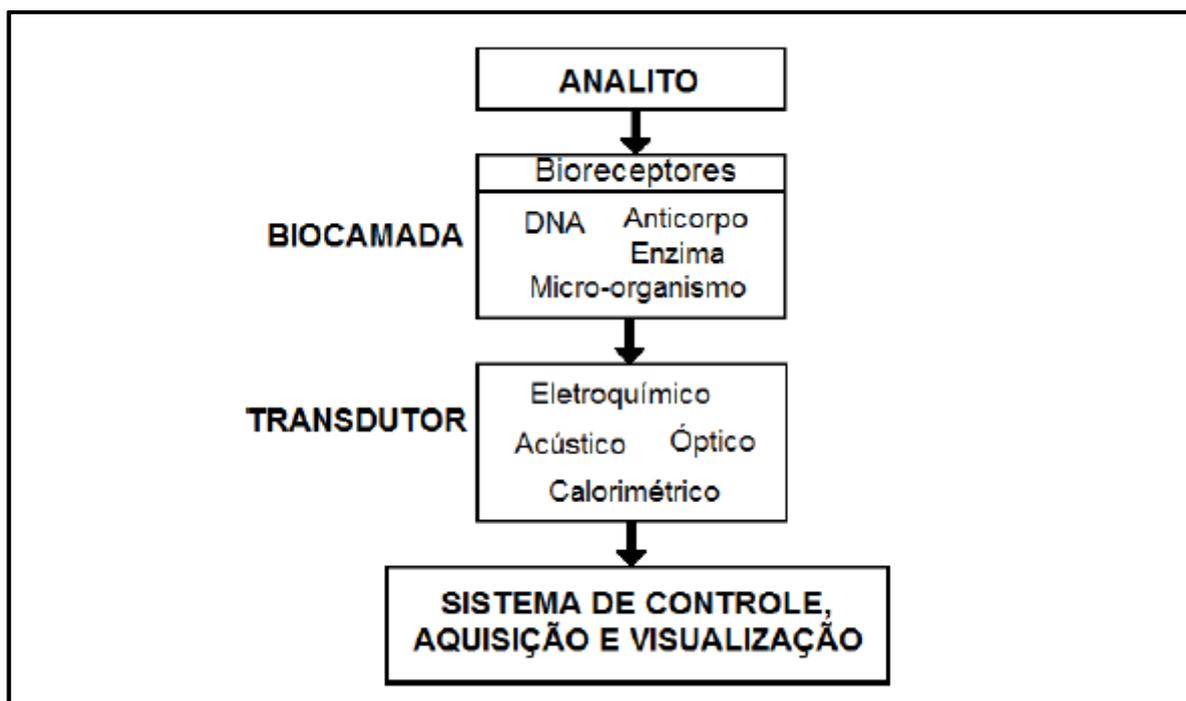


FIGURA 3.1 – Diagrama de blocos de um biossensor [BIOS2010]

A biocamada, que inclui o elemento bioreceptor, é immobilizada no substrato do biosensor. Os bioreceptores podem ser: enzimas, micróbios, organelas, células de animais ou plantas, tecidos de plantas ou animais, anticorpos, receptores, ácidos nucleicos, DNA, entre outras substâncias. [BIOS2010]

O analito ao entrar em contato com o bioreceptor, immobilizado na superfície do biosensor, produz uma mudança físico-química (variação de calor, índice de refração, resistência, capacitância, etc.) que pode ser identificada por um transdutor elétrico. O sinal elétrico resultante é então adquirido e processado. O sistema de aquisição, processamento e visualização dos dados informa ao usuário se o analito foi ou não detectado e também informa a quantidade de analito na amostra.

Bilhões de dólares são investidos na pesquisa e desenvolvimento de biosensores, com um crescimento anual estimado em 60% e incentivo da indústria de saúde [GASPAR]. Tal popularidade deve-se às características vantajosas desses dispositivos analíticos, ou seja: menor tempo de processamento e análise da amostra (de minutos a horas) e um ônus menor, além da possibilidade de integração em um único encapsulamento e de análise em tempo real e no local de medição.

### 3.3.1 – TIPOS DE BIOSENSORES

Os biosensores podem ser classificados de acordo com a biocamada e o transdutor utilizado. No tocante à biocamada, os biosensores podem ser classificados em [BIOS2010]:

- Biosensores enzimáticos: usam enzimas como elementos bioreceptores, como é o caso da oxidase de glicose utilizada na medição de glicose no sangue;
- Imunobiosensores: são biosensores que monitoram as interações do par anticorpo-antígeno, nas quais o anticorpo ou o antígeno são immobilizados na superfície. A sensibilidade de um imunobiossensor depende da afinidade e da especificidade da ligação e do ruído do sistema transdutor. Entre os analitos que podem ser investigados pelos imunobiosensores estão os hormônios (esteroides e hormônios pituitários), drogas, vírus, bactérias e poluentes ambientais (pesticidas, por exemplo);
- Biosensores celulares: Estes biosensores utilizam microorganismos, especialmente, para o monitoramento ambiental de poluentes. As células são incorporadas à superfície de um eletrodo, sendo o princípio de operação muito semelhante aos biosensores enzimáticos, contudo apresentam custo reduzido, maior atividade catalítica e estabilidade.

Já conforme o transdutor, os biosensores podem ser classificados em [BIOS2010]:

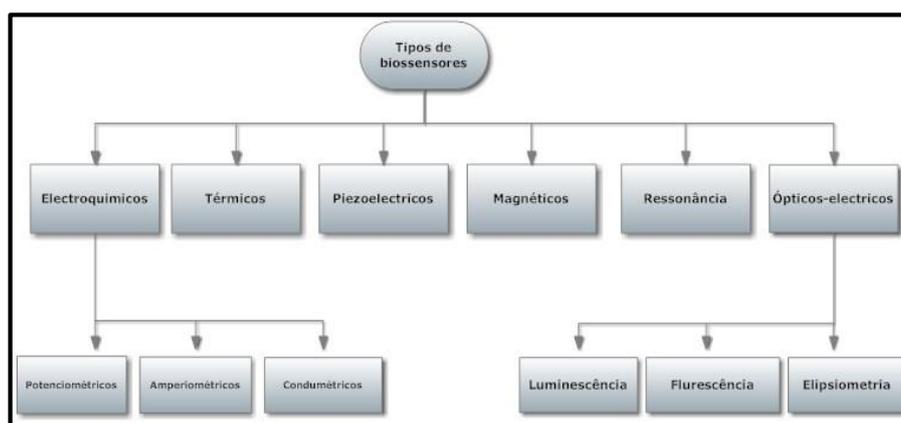
- Biosensores eletroquímicos: Os biosensores eletroquímicos consistem de dois componentes - um elemento biológico que reconhece o analito alvo e o transdutor (eletrodo) que "traduz" o evento de bio-reconhecimento em um sinal elétrico útil. Os biosensores eletroquímicos podem ser de três tipos: potenciométrico, amperométrico e condutométrico;

- Biosensores ópticos: são biosensores que se baseiam em mudanças nas propriedades ópticas das substâncias, com o objetivo de monitorar a concentração do analito. Entre as propriedades ópticas que podem ser utilizadas estão: absorção, índice de refração, fluorescência, fosforescência, refletividade e comprimento de onda. Entre as vantagens desses biosensores estão o seu tamanho reduzido, a velocidade de resposta, a facilidade de integração, imunidade a ruído eletromagnético, boa biocompatibilidade e não-necessidade de elementos ativos na biocamada;

- Biosensores acústicos: são baseados na propriedade da piezo-eletricidade que os cristais anisotrópicos (quartzo, por exemplo) possuem. Quando é aplicada uma tensão alternada a este biossensor, o cristal oscila com uma determinada frequência, sendo a frequência associada à massa e às constantes elásticas do cristal.

- Biosensores calorimétricos: usam o calor gerado por reações catalisadoras de enzimas exotérmicas para medir a concentração do analito. As mudanças de temperatura são geralmente determinadas por termistores de alta sensibilidade;

Dentre os diversos tipos de biosensores iremos identificar, neste trabalho, apenas dois sendo atualmente utilizados nos estudos para desenvolvimento de dispositivos de ICM, os biosensores eletroquímicos e ópticos. Tecnologias de medição de atividades biomagnéticas no cérebro como a MEG (*Magnetoencefalografia*) e a fMRI (*Imagem Funcional de Ressonância Magnética*) exigem equipamentos de grande dimensão e alto custo, tornando inviável estas tecnologias no desenvolvimento de interfaces de usuário.



**FIGURA 3.2 – Tipos de Biosensores [GASPAR]**

### 3.4 – BIOSENSORES EM ICM

Um sistema ICM tem por objetivo reconhecer um conjunto de padrões de sinais cerebrais e atuar em conformidade. Este processo desenvolve-se em cinco etapas: aquisição do sinal, amplificação, extração de características, classificação e interface de controle. A etapa de aquisição do sinal capta os sinais cerebrais, podendo também filtrar o ruído. A etapa de amplificação prepara o sinal de forma adequada para o posterior processamento. Na extração de características é identificada a informação contida nos sinais cerebrais. A fase de classificação avalia os sinais tendo em conta as suas características, essencial para decifrar as intenções do utilizador. Finalmente, a interface de controle traduz os sinais em comandos para o controle de equipamentos, como, por exemplo, uma cadeira de rodas ou um computador [ANDR2014].

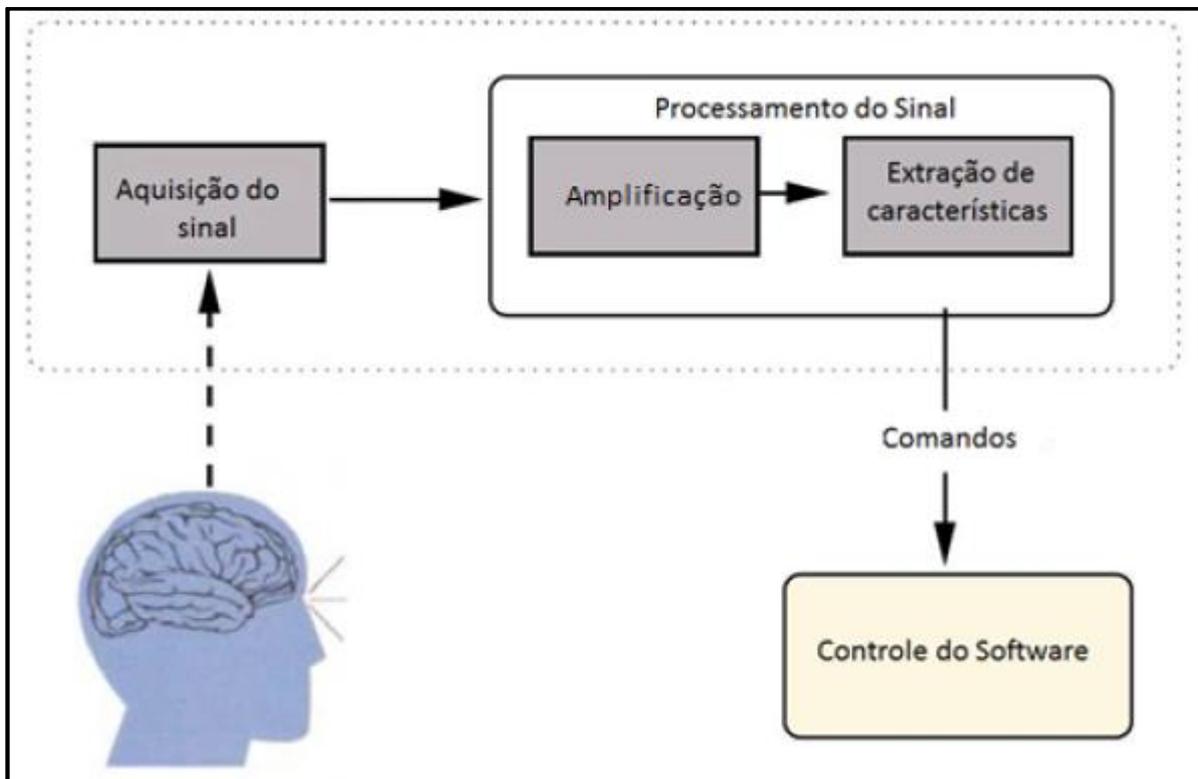


FIGURA 3.3 – Esquema funcional de uma ICM [ANDR2014]

Podemos distinguir dois tipos de atividade cerebral com os biosensores eletroquímicos e ópticos:

Atividade eletrofisiológica: É gerada por transmissores eletroquímicos na troca de informação entre os neurônios, criando correntes iônicas que fluem através dos conjuntos de neurônios.

Atividade hemodinâmica: É um processo onde o sangue libera glicose e oxigênio para os neurônios ativos a uma taxa muito maior do que a liberada na área dos neurônios inativos. O oxigênio fornecido, através da corrente sanguínea, provoca uma alteração da proporção local de oxi-hemoglobina e desoxi-hemoglobina [ANDR2014].

A atividade eletrofisiológica é medida por sistemas de Eletroencefalografia (EEG), Eletrocorticografia (ECoG), Magnetoencefalografia (MEG), dentre outros de elevado custo e dimensão, enquanto a atividade hemodinâmica é medida por sistemas como a Imagem Funcional de Ressonância Magnética (fMRI) e Espectroscopia de Infravermelho Próximo (NIRS). Estes dois últimos são considerados indiretos, uma vez que medem a resposta hemodinâmica que, em contraste com a atividade eletrofisiológica, não estão diretamente relacionados com a atividade neuronal.

Técnicas de medida de sinais fisiológicos baseadas em NIRS têm a vantagem de poderem ser pequenos e portáteis. A fMRI pode fornecer uma resolução espacial muito melhor, mas não é móvel ou mesmo portátil. Infelizmente ambos os métodos são caracterizados por apresentar uma baixa resolução temporal e a fMRI por ser bastante dispendiosa. Já os sistemas MEG e EEG são caracterizados por uma boa resolução temporal, entretanto tem uma baixa resolução espacial. O equipamento MEG é tão volumoso e dispendioso como o da fMRI. [ANDR2014]

Técnica	Atividade medida	Tipo de medida	Resolução temporal	Resolução espacial	Risco	Portabilidade
EEG	elétrico	direta	0.05s	10mm	não-invasivo	sim
MEG	magnético	direta	0.05s	5mm	não-invasivo	não
ECoG	elétrico	direta	0.003s	1mm	invasivo	sim
NIRS	metabólico	indireta	1s	5mm	não-invasivo	sim
fMRI	metabólico	indireta	1s	1mm	não-invasivo	não

FIGURA 3.4 – Técnicas de medida de sinais fisiológicos do cérebro [ANDR2014]

Os biosensores eletroquímicos tem como analito as atividades eletrofisiológicas e os biosensores ópticos o analito é a atividade hemodinâmica. As atividades biomagnéticas ocorrem no metabolismo e eletroquímica cerebral, constituindo diferentes métodos de aquisição de sinais abordando os mesmos analitos.

Dadas as vantagens e limitações de cada tecnologia, as técnicas mais utilizadas atualmente para integrar sistemas de ICM tem sido o EEG (invasivo, semi-invasivo ou não-invasivo) e NIRS, portanto o estudo dos biosensores que atuam nesses sistemas deve ser feita pelo analito correspondente, considerando que este trabalho se limita ao processo de aquisição do sinal.

### 3.4.1 – BIOSENSORES DE ATIVIDADE ELETROFISIOLÓGICA

A eletroencefalografia (EEG) é um método eletrofisiológico de monitorização e registro da atividade elétrica do cérebro. É tipicamente não-invasiva, com os eletrodos colocados ao longo do couro cabeludo, embora eletrodos invasivos são por vezes usados em aplicações específicas. O EEG mede as flutuações de tensão decorrentes da corrente iônica dentro dos neurônios do cérebro. Em contextos clínicos, EEG refere-se ao registro da atividade elétrica espontânea do cérebro durante um período de tempo. Aplicações de diagnóstico, geralmente focam o conteúdo espectral do EEG, isto é, os tipos de oscilações neurais ou "ondas cerebrais". [WIKIELEC]

A eletrocorticografia (ECoG) tem os mesmos parâmetros da EEG, mas com os eletrodos aplicados no córtex cerebral, sendo uma das aplicações médicas com uso invasivo da EEG. Muitas técnicas de EEG não são suficientemente padronizados para uso clínico e possuem as seguintes vantagens e desvantagens [WIKIELEC]:

Vantagens:

- Os custos de hardware são significativamente inferiores a maioria das outras técnicas;
- EEG não necessita de disponibilidade ilimitada de técnicos para assistência imediata;
- Sensores de EEG podem ser usados em mais lugares do que fMRI ou MEG, uma vez que estas técnicas exigem equipamento volumosos e imóveis;
- EEG tem altíssima resolução temporal, da ordem de milissegundos;
- EEG é relativamente tolerante com movimentos e existem métodos para minimizar e mesmo eliminar ruídos de movimentos em dados de EEG;
- EEG é silenciosa, o que permite um melhor estudo das respostas a estímulos auditivos;

- O EEG não expõe o usuário a campos magnéticos de alta intensidade, como em algumas das outras técnicas;
- Não invasiva, ao contrário da ECoG.

EEG tem algumas características favoráveis em testes comportamentais:

- EEG pode ser utilizado em indivíduos que são incapazes de dar uma resposta motora;
- Alguns componentes podem ser detectados mesmo quando não estão atendendo aos estímulos;
- EEG é uma ferramenta poderosa para controlar alterações cerebrais durante as diferentes fases da vida. Na análise do sono o EEG pode indicar aspectos significativos do calendário de desenvolvimento do cérebro, incluindo a avaliação da maturação do cérebro adolescente;
- Em EEG existe uma melhor compreensão do que é medido como sinal de comparação.

Desvantagens:

- Baixa resolução espacial no couro cabeludo. fMRI por exemplo, pode apresentar diretamente áreas do cérebro que estão ativos, enquanto EEG requer interpretação intensa apenas para a hipótese de que áreas estão ativadas por uma resposta em particular;
- EEG tem pouca medição da atividade neural que ocorre abaixo das camadas superiores do cérebro (córtex);
- Elevado tempo de inicialização, uma vez que requer a colocação precisa de dezenas de eletrodos em torno da cabeça e a utilização de gel, soluções salinas, e / ou pastas para fixação. O tempo varia de acordo com o dispositivo de EEG específico utilizado;
- Relação sinal-ruído é pobre, requer sofisticada análise de dados e um número relativamente grande de indivíduos para extrair informações úteis de EEG.

### 3.4.2 – BIOSENSORES DE ATIVIDADE HEMODINÂMICA

O sensor de espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS), designado “óptodo”, no âmbito da instrumentação médica, serve para visualização do fluxo sanguíneo cerebral localizado. O princípio físico do seu funcionamento consiste na aplicação de radiação eletromagnética com comprimento de onda no infravermelho-próximo para avaliar, de forma qualitativa, a oxigenação periférica dos tecidos, muito semelhante ao princípio da oximetria de pulso. Este baseia-se na relação entre as concentrações de oxihemoglobina e desoxi-hemoglobina existentes no sangue. A hemoglobina, saturada em oxigênio, de cor avermelhada, ao passar pelos vasos capilares, libera parte deste oxigênio para os tecidos, exibindo uma cor azulada. Ao medir a intensidade da luz transmitida numa determinada região é possível obter informação localizada sobre a oxigenação e a hemodinâmica do sangue. [ANDR2014]

Vantagens:

- A medição de sinais por NIRS é significativamente mais tolerante a movimentos;
- O NIRS monitora a oxigenação cerebral;
- É um equipamento portátil;
- NIRS tem baixo custo
- Não invasivo;
- Aparelhos mais modernos, já corrigem a influência da espessura óssea através da adaptação correta da distância entre o emissor e o receptor de luz, melhorando significativamente a sensibilidade do sinal.

Desvantagens:

- Não pode ser utilizado para medir a atividade cortical a mais de 4 cm de profundidade, devido às limitações no poder emissor de luz;
- Movimentos podem induzir ruído elétrico no sinal do NIRS;
- Resolução espacial limitada;
- Baixa resolução temporal.

### 3.5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo identificamos os princípios gerais de operação dos sensores e suas regras, observando características como resolução e sensibilidade. São feitas considerações sobre a interface entre o sensor e o circuito, que somado a um condicionador e/ou transmissor, compõe um transdutor.

É explicitado neste capítulo o surgimento dos biosensores, sua ordem de execução e amplitude de atuação, sendo descritos os tipos de biosensores e quais destes operam em dispositivos de interface cérebro-máquina. Neste capítulo também é descrita as vantagens e desvantagens de cada método de captação de sinais cerebrais dentro dos objetivos buscados pelos dispositivos de ICM.

Os estudos em IHC acompanham a evolução das tecnologias agregando as melhorias e inovações em dispositivos. Os sensores são peças fundamentais nessa evolução tecnológica, sendo observável sua atuação em todos os dispositivos atualmente acessíveis e nos projetos futuros. Observando os métodos de atuação dos sensores, nos dispositivos de interface, são feitos os estudos para o desenvolvimento de dispositivos futuros. A captação de sinais biológicos por transdutores é um método em constante prospecção para implementações em dispositivos, correspondendo aos avanços no estudo da ICM.

## 4 – DISPOSITIVOS ICM

Atualmente existem várias formas de aquisição dos sinais eletrofisiológicos e metabólicos do cérebro, mas apenas alguns são viáveis para prospecção das ICMs. Análises estatísticas fazem estimativas probabilísticas dos sinais processados e correlacionam com uma atividade motora ou cognitiva. O reconhecimento dos sinais se traduz em respostas mecânicas, movimentos dinâmicos de um cursor ou qualquer ação correlacionada ou predefinida. Ajustando-se as alterações e fornecendo feedback, o usuário se adaptará a interface. Ações devem ser constantemente estimuladas a fim de acelerar o aprendizado e melhorar as respostas. É necessária atenção e cuidados, devido à dificuldade de obtenção e tratamento dos sinais, para eliminação de ruídos.

### 4.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Diversos dispositivos estão atualmente em desenvolvimento ou já comercialmente acessíveis, abordando várias formas de captação dos sinais biológicos para uso recreativo ou médico, sendo o EMG (*Eletromiografia*), ECG (*Eletrocardiografia*) e EOG (*Eletrooculografia*) os métodos mais comumente utilizados em combinação com a EEG e NIRS. A imersão dos eletrodos no crânio do usuário com a ECoG é um diferencial entre as abordagens, sendo comum o método invasivo e semi-invasivo nos dispositivos médicos, necessitando atenção especial para evitar infecções.

### 4.2 – DISPOSITIVOS ICM DE USO RECREATIVO

Dispositivos ICM para uso recreativo possuem número variado de eletrodos ou biosensores não invasivos, sendo estes colocados superficialmente sobre o couro cabeludo e com posicionamento fixo ou regulado pelo usuário, de acordo com instruções que devem acompanhar o equipamento. Alguns destes dispositivos requer umidificação de seus eletrodos, com gel específico, para melhorar a captação dos sinais, e disponibilizam SDKs para o desenvolvimento de aplicações e jogos.

Um componente importante destes equipamentos é o CAD (*Conversor Analógico-Digital*), um dispositivo eletrônico capaz de gerar uma representação digital (em bits) a partir de uma grandeza analógica, o nível de tensão ou intensidade de corrente elétrica, produzida pelas reações eletroquímicas do cérebro.

Dispositivo	Eletrodos	CAD (Bits)	Sensores Interpretados:	SDK	Lançado	Produtor	Interface de conexão	Notas
Aurora Dream Headband	1	8	Sensor frontal EEG / EOG, SDK abertos, incorporado rastreamento do sono 4-stage, 2 LEDs perto dos olhos	Sim	Julho 2015	iwinks	/ USB Bluetooth Low Energy / Cartão SD	Dispositivo de análise do sono do Consumidor
Melon Headband	4	?	L + R hemisfério pré-frontal EEG	Sim	Novembro 2014	Melon	Wibree	Aplicativo móvel para medir o seu foco
HiBrain	1	?	9 estados mentais, tensão facial, o movimento dos olhos e olho parado	Sim	Setembro 2014	HyperNeuro	Bluetooth ou RF	Assistência médica. Eletrodo ativo de liga de ouro.
iFocusBand	1	?	8 estados mentais, tensão facial, o movimento dos olhos e olho parado	Sim	Outubro 2014	iFocusBand	Bluetooth	Sensores de tecidos moles, feedback de áudio.
MindWave	1	12	2 estados mentais (baseado em 4 ondas cerebrais), piscar dos olhos.	Sim	21 de março de 2011; 4 anos atrás	NeuroSky		
Mindflex (Usa NeuroSky) chips	1	12	1 estado mental	Não	21 dezembro de 2009; 5 anos atrás	Mattel (NeuroSky)		
Emotiv EPOC	14	16	3 estados mentais (baseado em ondas cerebrais), 13 pensamentos conscientes, expressões faciais, movimentos da cabeça (detectados por 2 giroscópios)	Sim	21 dezembro de 2009; 5 anos atrás	Emotiv Systems		

Emotiv Insight	5	14		Esperado	Esperado abril 2015	Emotiv Lifescience	Bluetooth 4.0 LE.	
Star Wars Force Trainer (baseado em chips de NeuroSky)	1	12	1 estado mental	Não	21 de junho de 2009; 6 anos atrás	Uncle Milton (NeuroSky)		Interrompido
MindSet	1	12	2 estados mentais (baseado em 4 ondas cerebrais), piscar dos olhos	Sim	Março 2007; 8 anos atrás	NeuroSky		
Mindball	1	?	1 estado mental	Não	21 de março de 2003; 12 anos atrás	Linha de Produtos interativo		
XWave headset (usa chips NeuroSky)	1	12	8 EEG bandas	Sim	05 de janeiro de 2011; 4 anos atrás (aplicativos do Windows e iOS disponíveis, app Android disponível em breve)	PLX Devices	Bluetooth	Projetado para se parecer com um headband de esportes, já não está disponível
XWave Sonic (usa chips NeuroSky)	1	12	?	?	iOS Apps Disponível agora	PLX Devices	Bluetooth	Interrompido
MyndPlay BrainBand (usa chips NeuroSky)	1	12	8 EEG bandas	Sim	01 de dezembro de 2011; 3 anos atrás	MyndPlay	Bluetooth	Headband, gel condutor para o clipe de orelha
Musa	4	16	7 sensores; 5 frontal (2 ativa, 2 DRL, uma referência), 2 ativa atrás das orelhas	Sim	Enviado abril 2014	InteraXon	Bluetooth	Aplicativo de treinamento cerebral para redução do estresse e melhora do foco.
OpenBCI	Placas de 8 a 16	24		Sim	Enviado ao público geral dezembro 2014	Projeto OpenBCI	Bluetooth4.0	Hardware aberto. Possibilita o acréscimo de placas aumentando a contagem de eletrodos.

**Lista comparativa dos dispositivos ICM disponíveis no mercado [WIKICOMP]**

A comunicação do dispositivo com a máquina que irá processar os sinais se dá pelas interfaces de conexão, sendo o Bluetooth, USB e RF (Rádio Frequência) os mais utilizados.

Todos os dispositivos listados utilizam a eletroencefalografia, exceto o Neural Impulse Actuator que usa apenas a eletromiografia. Alguns usam a eletroencefalografia e a eletromiografia, como o BrainBand MindWave, EPOC e MindSet. O OpenBCI oferece placas de dados para EEG, eletromiografia (EMG, a atividade elétrica dos músculos esqueléticos) e eletrocardiograma (ECG, a atividade elétrica do coração). [WIKICOMP]



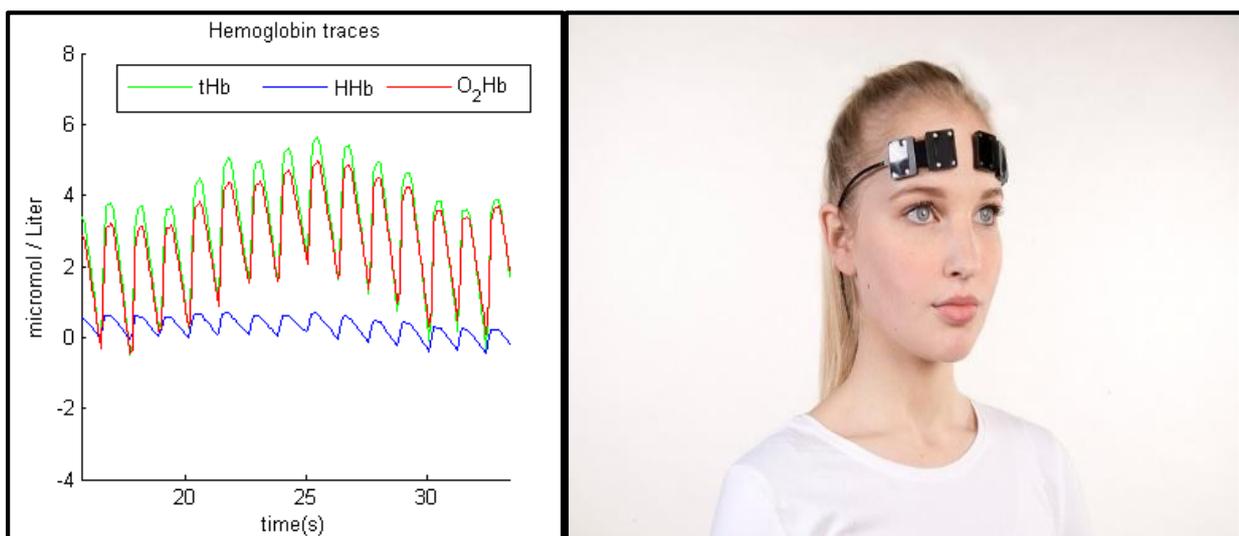
**FIGURA 4.1 – MindFlex e Emotiv EPOC**

As ondas cerebrais são medidas por meio dos sensores externos ao longo do couro cabeludo, que captam as atividades eletroquímicas em várias partes da superfície do córtex cerebral, portanto os dispositivos de uso recreativo são todos não invasivos.

O PortaLite é baseado na tecnologia PortaMon que utiliza espectroscopia no infravermelho próximo para medir a saturação local de tecido, bem como oxi-, desoxi-, e as concentrações de hemoglobina total. A sonda é separada, pequena e fácil de anexar. O PortaLite pode ser operado usando o software dedicado, Oxysoft. É utilizado em uma ampla gama de aplicações, como a monitorização da oxigenação cerebral, ciência do esporte ou estudos funcionais. O PortaLite tem três fontes de luz e é, por conseguinte, capazes de medir o TSI (Índice de saturação do tecido), o qual é uma medida absoluta da hemoglobina oxigenada [ARTI2015].

O PortaLite possui as seguintes características:

- Medidas oxi, de-oxi, e saturação de hemoglobina total e tecido;
- Conexão Bluetooth (até 150 metros) ou conexão USB para o PC;
- Aquisição de dados on-line ou on-board;
- Bateria recarregável de 8 a 10 horas de operação;
- O tamanho é de 84x54x20 mm com um fio de 1,3 metros para uma sonda flexível de 58x28x6 mm;
- PortaLite mini tem uma sonda menor (40 por 20 por 5 mm) e utiliza um receptor e três transmissores (a 16,21 e 26 mm a partir do receptor) para calcular TSI;
- Pesa apenas 88 gramas, incluindo a bateria;
- Software de análise Oxysoft.



**FIGURA 4.2 – Exemplo de sinal NIRS e Sonda PortaLite [ARTI2015]**

### 4.3 – DISPOSITIVOS ICM DE USO MÉDICO

Dispositivos ICM para uso médico podem ser invasivos, semi-invasivos ou não invasivos. Assim como os dispositivos para uso recreativo os equipamentos para uso médico requerem a mesma atenção quando sua imersão é classificada como não invasiva, sendo necessária a umidificação e correto posicionamento dos eletrodos ou biosensores.

Os dispositivos ICM de captação de sinais para EEG com classificação de imersão semi-invasiva ou invasiva, requerem cuidados especiais para evitar infecções.

Devem ser consideradas a segurança, durabilidade, confiabilidade, consistência, complexidade, usabilidade, adequação e eficácia de um sistema ICM antes de sua implantação. [PRAT2006]

O Projeto Unlock, lançado em 2011, é uma iniciativa multi-universitária (envolvendo pesquisadores da Universidade de Boston, Northeastern University, Instituto de Tecnologia de Massachusetts, e da Universidade de Kansas), cujo objetivo é fornecer tecnologias de interface cérebro máquina (ICM) para indivíduos sofrendo de síndrome de encarceramento (LIS), caracterizada pela perda completa ou quase completa da função motora voluntária com sensação e cognição intactas.

O Unlock ICM consiste em um sistema de EEG não invasivo, que é conectado sem fio a um computador portátil, juntamente com hardware periférico, incluindo um controle remoto infravermelho. O sistema também inclui software para decodificar os sinais do cérebro e usá-los para controlar remotamente aplicativos no computador, televisores e outros dispositivos de áudio-visual. Outros aplicativos em desenvolvimento incluem a navegação na Internet, e-mail e aplicativos de processamento de texto. [UNLO2011]



**FIGURA 4.3 – Membros do projeto Unlock trabalhando com um paciente [UNLO2011]**

Engenheiros do Imperial College, em Londres desenvolveram um dispositivo de EEG que pode ser usado dentro do ouvido, como um aparelho auditivo. O dispositivo permitirá aos cientistas gravar as ondas EEGs por vários dias, isso permitiria aos médicos monitorar regularmente pacientes com problemas como narcolepsia ou convulsões recorrentes.

Alinhado e protegido dentro do ouvido é possível evitar ruídos do sinal, geralmente introduzida pelo movimento do corpo, garantindo também que os eletrodos sejam sempre colocados exatamente no mesmo local, que fará leituras repetidas mais confiáveis. Não interfere na audição, possuindo abertura acústica. [MITT2013]

Este equipamento se enquadra nos dispositivos EEG classificados como semi-invasivo, pois não há maiores penetrações no corpo do paciente, se aproveitando de orifício natural. Tal abordagem é inovadora e com grande potencial de novas implementações com outros alinhamentos, como o orifício nasal.



**FIGURA 4.4 – Fone de ouvido personalizado com três eletrodos no canal auditivo [MITT2013]**

CerePlex W, desenvolvido pela Blackrock, é um ICM wireless, é o primeiro headstage neural comercial para detectar, digitalizar e transmitir um sinal neural sem fios a um receptor próximo, abrindo novas incursões para pesquisadores que desejam analisar o comportamento natural, tais como padrões de sono. O módulo sem fio é montado na cabeça, sendo um dispositivo invasivo, os cientistas acreditam que todos os componentes eletrônicos devem ser completamente implantados no interior do corpo, sem fios, para evitar infecções. Blackrock é uma empresa privada que fornece ferramentas para pesquisa e desenvolvimento em neurociência, engenharia neural e neuroprotética para comunidades clínicas em todo o mundo. O CerePlex W é capaz de transmitir um volume de dados equivalente a 200 DVDs em um dia. [TECH2012]



**FIGURA 4.5 – Modelo de um dispositivo CerePlex W [TECH2012]**

#### 4.4 – ESTUDO DOS BIOSENSORES EM DISPOSITIVOS ICM

Após analisar os diversos dispositivos, em desenvolvimento ou já disponibilizados para uso recreativo e médico, foi identificado os biosensores de EEG e NIRS como únicos explorados pela ICM atualmente, sendo as atividades eletrofisiológicas e hemodinâmicas seus respectivos analitos. Considerando que os métodos invasivos possuem captação de sinais biológicos mais eficientes que os semi-invasivos, e estes melhores que os não invasivos e observando a atual inexistência de métodos invasivos ou semi-invasivos na NIRS, podemos extrair um comparativo entre o EEG e o NIRS em seus métodos de captação de sinais cerebrais.

A resolução de um biosensor é diretamente proporcional a sua precisão, a velocidade é característica da resolução temporal e sua sensibilidade é a resolução espacial. De acordo com a tabela do capítulo 3.2 temos como referência o ECoG (EEG Invasivo) como o método de melhor eficiência. Tratando-se de uma abordagem do EEG, o ECoG tem as características citadas no capítulo 3.3.1, porém com eliminação de algumas desvantagens como a baixa medição de atividade neural e elevado tempo de inicialização.

Observando as informações explicitadas no capítulo 3.2 é possível concluir que os biosensores atuadores na EEG e NIRS são sensíveis a diferentes cascatas de eventos e estão ligadas às mesmas atividades neuronais, essas modalidades possuem complementaridade em suas características temporal e espacial. A combinação de EEG e NIRS, oferece, portanto, a possibilidade de examinar a atividade funcional do cérebro de forma mais abrangente.

Mesmo a fMRI sendo superior a NIRS em termos de resolução e cobertura espacial, e a capacidade para abordar questões relacionadas com as áreas cerebrais mais profundas, tem a grande desvantagem da imobilidade, além da diferença de custos, sendo um scanner de ressonância magnética normalmente muito mais caro do que um sistema de NIRS. Dispositivos com NIRS são muito mais compactos, móveis e baratos, fazendo com que sejam perfeitos para combinação com dispositivos EEG.

A combinação dos dispositivos de EEG e NIRS é possibilitada pelos equipamentos comercialmente disponibilizados, não havendo interferência entre os sinais. Devido a isso, todos os amplificadores EEG podem ser utilizados simultaneamente como um artefato de medição EEG-fNIRS. Nesta combinação de técnicas dois aspectos precisam ser considerados: o posicionamento do sensor / eletrodo e a sincronização do fluxo de dados.

#### 4.5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tecnologias de ICM já estão acessíveis no mercado de dispositivos de uso recreativo e em laboratórios clínicos para estudos médicos. Diversas métodos são utilizadas para somar informações com os dados coletados por EEG e NIRS, no processamento dos comandos e leituras dos sinais cerebrais. Vários enfoques são dados aos dispositivos e muitas possibilidades são consideradas para o desenvolvimento de mais inovações e estudos com estes equipamentos.

Os dispositivos de uso recreativo são todos não invasivos e os dispositivos médicos são não invasivos, semi-invasivos ou invasivos, a depender dos objetivos e necessidades da aplicação. Os métodos invasivos são mais eficientes em resolução e sensibilidade, podendo futuramente ser explorado por usuários recreativos com maiores exigências.

## 5 – CONCLUSÃO DOS ESTUDOS

### 5.1 – CONSIDERAÇÕES

Dispositivos ICM são direcionados a uma ampla variedade de aplicações para além das supracitadas áreas de entretenimento, comunicação, controle motor e prótico. A capacidade desses sistemas na indução da plasticidade cortical pode ser o futuro das aplicações médicas. Através do *neurofeedback* é possível adquirir o controle seletivo sobre certas áreas do cérebro, com o objetivo de introduzir alterações comportamentais. Este *feedback* pode melhorar o desempenho cognitivo, a fala ou o controle da dor e tem sido usado no tratamento de perturbações mentais, como a epilepsia, o déficit de atenção, esquizofrenia, depressão e dependência de álcool. Os sinais cerebrais podem também ser utilizados para avaliar estados de saúde.

A combinação do EEG com a NIRS dá origem a uma ferramenta capaz de fornecer informação sobre a função cerebral, bem como as características espaciais e temporais da atividade neuronal. O EEG, com sua elevada resolução temporal, medirá o potencial elétrico no tecido cerebral e a NIRS irá mensurar as alterações na oxigenação e volume sanguíneo, refletindo a atividade metabólica neuronal.

### 5.2 – CONCLUSÃO

O estudo realizado permitiu identificar a complementariedade dos métodos de captação de sinais cerebrais atualmente utilizados nos dispositivos comercializados, sendo estes a eletroencefalografia e a espectroscopia por infravermelho próximo. Esse processo de estudo e descrição, dos biosensores envolvidos nas tecnologias de interface cérebro-máquina, foi edificante para futuras concepções práticas, no intuito de desenvolver um dispositivo para experimentações.

Neste trabalho foram apresentados conceitos da interface de usuário e a importância da naturalização da conexão do usuário com a máquina, sempre sinalizando a necessidade de universalidade nas interações, seguindo os princípios da usabilidade com o atendimento as necessidades de usuários portadores de deficiências ou outras dificuldades.

Foram apresentados conceitos em inovação e tecnologias atualmente acessíveis, para assimilação das perspectivas evolucionárias da IHC em sua mais prospecta ramificação, a interface cérebro-máquina.

Dessa forma a produção teve êxito no seu propósito que é o estudo comparativo dos biosensores e métodos envolvidos na aquisição de informações neurais para entrada de comandos em dispositivos de ICM e primeiro passo da aplicação deste conhecimento.

### 5.3 – TRABALHOS FUTUROS

Uma análise da eficiência dos biosensores, de acordo com o estudo proposto, servirá de orientação para a elaboração de futuros artefatos que se adequem as necessidades exigidas em um projeto de ICM.

Existem inúmeros projetos de hardware e software aberto para o estudo de dispositivos de captação dos sinais neurais, sendo possível a aplicação do conhecimento reunido neste trabalho nas pesquisas que se somam pela internet. Projetar um dispositivo, com a utilização somatória de biosensores de EEG e NIRS, será a próxima etapa deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- [ANDR2014] Queirós, André Ricardo Cabral. *Plataforma smartphone para biossensores de espectroscopia de infravermelho próximo*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Biomédica, Faculdade de Ciências e Tecnologia e Universidade Nova de Lisboa, 2014.
- [APPL2008] GIZMODO, 2008, *Apple multi-touch data fusion adds câmera, voice, force sensors*. Disponível em <http://gizmodo.com/5045269/apple-multi-touch-data-fusion-adds-camera-voice-force-sensors>. Acessado em Dezembro, 2015.
- [ARTI2015] Artinis Medical Systems, PortaLite. Disponível em <http://www.artinis.com/product/porta-lite>. Acessado em Dezembro, 2015.
- [BIOS2010] Cleumar S. Moreira, Antonio M.N. Lima, H. Neff, Arlindo G. B. Neto, Fernanda C. C. L. Loureiro, Carlos A. De Souza Filho e Luis H. C. Lima Junior, *Biossensores: Tecnologia e Aplicações*. Anais, V CONNEPI, 2010. Disponível em [http://connepi.ifal.edu.br/ocs/anais/conteudo/anais/files/conferences/1/sched\\_Confs/1/papers/1920/public/1920-5801-1-PB.pdf](http://connepi.ifal.edu.br/ocs/anais/conteudo/anais/files/conferences/1/sched_Confs/1/papers/1920/public/1920-5801-1-PB.pdf)
- [CONC2014] GIZMODO Brasil, 2014, *7 conceitos que mostram o futuro do design de interfaces de usuário*. Disponível em <http://gizmodo.uol.com.br/7-interfaces-usuario-futuro/>. Acessado em Dezembro, 2015.
- [GARB2010] Garbin, Sander Maeda, *Estudo da evolução das interfaces homem-computador*. Trabalho de conclusão de curso, EESC/USP, São Carlos, 2010.
- [GASPAR] Gaspar, César, Instituto Superior Técnico Eng. Eletrônica. Biossensores\_FL. Disponível em <https://sites.google.com/site/biossensoresfl/>. Acessado em Dezembro, 2015.

- [HAPT2014] Yasuaki Monnai, Keisuke Hasegawa, Masahiro Fujiwara, Kazuma Yoshino, Seki Inoue, Hiroyuki Shinoda, Artigo, 2014. *HaptoMime: mid-air haptic interaction with a floating virtual screen*. Disponível em <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2647407>. Acessado em Dezembro, 2015.
- [INFOWES] InfoWester, *Mouses: funcionamento, tipos e principais características*. Disponível em <http://www.infowester.com/mouse.php>. Acessado em Dezembro, 2015.
- [JAF2015] Roozbeh Jafari, associate professor in the Department of Biomedical Engineering at Texas A&M, 2015. *New technology at Texas A&M could enable smart devices to recognize, interpret sign language*. Disponível em <https://engineering.tamu.edu/news/2015/08/20/slr-technology>. Acessado em Dezembro, 2015.
- [JAGUARA] Secretaria Municipal de Educação, Cultura, Desporto, Turismo e Lazer, *Jaguarari - Informática na Sala de Aula*. Disponível em <http://informatica.educajaguarari.com/index.php/en/modulo-ii/perifericos-e-software>. Acessado em Dezembro, 2015.
- [KASPERS] Kaspersky Lab, *Como as interfaces neurais diretas trabalham*. Disponível em <https://blog.kaspersky.com.br/como-as-interfaces-neurais-diretas-trabalham/5225/>. Acessado em Dezembro, 2015.
- [LEAP2015] BLOG ShowLeap, 2015. *Leap motion (II): Principio de funcionamento*. Disponível em <http://blog.showleap.com/2015/05/leap-motion-ii-principio-de-funcionamiento/>. Acessado em Dezembro, 2015.
- [LEIR2002] Leiria, Cristina Gislene, *Uma outra história da leitura – considerações sobre ao acesso dos cegos à palavra escrita na era das mediações digitais*. Trabalho apresentado no NP06 – Núcleo de Pesquisa Mídia Sonora, XXV Congresso Anual em Ciência da Comunicação, Salvador, 2002.

- [LIGH2014] Wolf Kienzle, Ken Hinckley, Artigo, 2014. *LightRing: Always-available 2D input on any surface*. Disponível em <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2642918.2647376>. Acessado em Dezembro, 2015.
- [LUIS2005] Luis Jeronimo, 2005. *Curso Profissional de Electrónica, Automação e Comando. Disciplina de Tecnologias Aplicadas. Módulo 6: Sensores e Transdutores*. Disponível em <http://www.profelectro.info/sensores-e-transdutores-pt-1-diferenca-entre-sensores-e-transdutores/>. Acessado em Dezembro, 2015.
- [MICR2014] GIZMODO Brasil, 2014, *A Microsoft quer mesmo transformar sua sala de estar em um jogo de Xbox*. Disponível em <http://gizmodo.uol.com.br/microsoft-roomalive/>. Acessado em Dezembro, 2015.
- [MITT2013] David Looney and Danilo P. Mandic, Imperial College London, MIT Technology Review, 2013. Disponível em <http://www.technologyreview.com/news/518356/device-could-spot-seizures-by-reading-brainwaves-through-the-ear/>. Acessado em Dezembro, 2015.
- [PRAT2006] Prates, R. Oliveira, Barbosa, Simone D. Junqueira, *Avaliação de Interfaces de Usuário – Conceitos e Métodos*. Capítulo 6, DCC/UFMG, DI/PUC-Rio, 2006. Disponível em [http://homepages.dcc.ufmg.br/~rprates/ge\\_vis/cap6\\_vfinal.pdf](http://homepages.dcc.ufmg.br/~rprates/ge_vis/cap6_vfinal.pdf)
- [TECH2012] Techno Crazed, Artigo, 2012. Disponível em <http://www.technocrazed.com/cereplex-w-a-miniature-wireless-interface-to-control-devices-by-thoughts>. Acessado em Dezembro, 2015.
- [TERM2013] Revista Saber Eletrônica, N°467, 2013. *Terminologia de Sensores*. Disponível em <http://www.sabereletronica.com.br/artigos/2997-terminologia-de-sensores>. Acessado em Dezembro, 2015.

- [UNIS2007] Instituto Humanitas Unisinos, 2007. A "*Era pós-humana*". O fenômeno da "*Singularidade*". Disponível em <http://www.ihu.unisinos.br/noticias/noticias-antiores/9898-a-%60era-pos-humana%60-o-fenomeno-da-%60singularidade%60>. Acessado em Dezembro, 2015.
- [UNLO2011] The Unlock Project, launched in 2011. Disponível em <http://unlockproject.org/>. Acessado em Dezembro, 2015.
- [WIKIELEC] WIKIPEDIA, Artigo. *Eletroencefalografia*. Disponível em <https://en.wikipedia.org/wiki/Electroencephalography>. Acessado em Dezembro, 2015.
- [WIKICOMP] WIKIPEDIA, Artigo. *Comparação de dispositivos de ICM*. Disponível em [https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison\\_of\\_consumer\\_brain-computer\\_interfaces](https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_consumer_brain-computer_interfaces). Acessado em Dezembro, 2015.