

INTERFACE CÉREBRO – MÁQUINA (ICM): DA TRANSDUÇÃO DO ESTÍMULO EXTERNO EM IMPULSO NERVOSO A TRADUÇÃO EM COMANDOS DIGITAIS

Johseph Paballo Gomes de Souza¹

Juliana Krizan²

Gabriela de Melo Costa³

André Fernando de Oliveira Fermoseli⁴

Psicologia



ISSN IMPRESSO 2317-1685
ISSN ELETRÔNICO 2316-6738

RESUMO

A Interface Cérebro – Máquina (ICM) é um sistema que utiliza os sinais da atividade cerebral para comandar dispositivos externos como cadeira de rodas, sintetizador de voz, próteses mecânicas e até mesmo Exoesqueletos. Dentre as diversas aplicações, este tipo de tecnologia tem especial interesse de pessoas com elevado grau de incapacidade física decorrente de amputações, traumatismos ou doenças neurodegenerativas, como a Esclerose Lateral Amiotrófica (ELA). O presente trabalho tem por objetivo fazer uma revisão sobre o tema Interface Cérebro – Máquina traçando o caminho que vai desde a transdução do estímulo externo realizado pelas células receptoras do sistema nervoso periférico em impulso nervoso até a tradução desse impulso no sistema nervoso central (SNC) e sua conversão em comandos digitais. Foi realizada uma revisão bibliográfica de livros e artigos indexados nas bases de dados Scielo, PLOS e Pubmed, nos idiomas: português e inglês. Apesar das recentes pesquisas terem feito grandes descobertas, a ICM ainda está longe de chegar ao nosso cotidiano. Um dos desafios encontrados é a busca por técnicas não invasivas que sejam eficazes para a detecção e transmissão de sinais cerebrais. Desafio que está chegando cada vez mais perto do fim com os grandes avanços da tecnologia moderna.

PALAVRAS-CHAVE

Interface Cérebro-Maquina. Impulso Nervoso. Transdução.

ABSTRACT

A Brain-Machine Interface is a system that uses the signals of brain activity to control external devices such as wheelchairs, speech synthesizer, mechanical prostheses and even Exoskeletons. Among the many applications, this type of technology is of particular interest to people with a high degree of physical disability due to amputation, trauma or neurodegenerative diseases such as Amyotrophic Lateral Sclerosis. This paper aims to make a review on the subject Brain-Machine Interface tracing the path that goes from the transduction of external stimuli conducted by the receptor cells of the peripheral nervous system in nerve impulse to the translation of this impulse in the central nervous system (CNS) and its conversion into digital commands. A literature review of books and indexed articles was conducted in Scielo databases, PLOS and Pubmed, in Portuguese and English. Despite recent research has made great discoveries, the ICM is still far from reach our daily lives. One of the challenges faced is to seek non-invasive techniques that are effective for the detection and transmission of brain signals. Challenge is getting ever closer to the end with the great advances of modern technology.

KEYWORDS

Brain-Machine Interface. Nerve Impulse. Transduction.

1 INTRODUÇÃO

O sistema nervoso funciona por meio de impulsos eletroquímicos e com o avanço da tecnologia, tornou-se possível o rastreamento da atividade neuronal de modo bastante específico, podendo perceber como cada área do nosso cérebro é responsável por executar diferentes funções do corpo humano, tais como: motricidade, afetividade, cognição.

Algumas áreas de estudo desenvolveram conhecimentos específicos para o entendimento do funcionamento do nosso cérebro. Concomitante a esse desenvolvimento surgiu a interface cérebro-Maquina (ICM), que é um campo de estudos relativamente novo que surgiu por volta da década de 1970 e integra diversas áreas da neurociência, fisiologia, psicologia, engenharia, ciência da computação, reabilitação e outras disciplinas técnicas e de cuidados da saúde. O sistema utiliza os sinais da atividade cerebral para comandar dispositivos externos como cadeira de rodas, sintetizador de voz, próteses mecânicas e até mesmo exoesqueletos (ALONSO; GIL, 2012).

Levando em consideração a complexidade do funcionamento cerebral, o sistema de ICM é do mesmo modo complexo. São utilizadas tecnologias um tanto quanto recentes como instrumentos de leitura da atividade cortical (Eletroencefalograma), computa-

dores e softwares que vão decodificar os sinais recebidos em comandos e que enquanto maior capacidade de processamento mais precisa serão as detecções e decodificações.

O presente trabalho tem por objetivo fazer uma revisão sobre o tema Interface Cérebro – Máquina, traçando o caminho que vai desde a transdução do estímulo externo realizado pelas células receptoras do sistema nervoso em impulso nervoso até a tradução da leitura desse impulso e sua conversão em comandos digitais.

2 METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão de livros e artigos indexados nas bases de dados Scielo, Google Acadêmico, PLOS e Pubmed nos idiomas inglês e português. Para a busca foram utilizadas as seguintes palavras-chaves: Interface cérebro-máquina (Brain-Machine Interface), Sistema Nervoso (nervous system), Transdução (Transduction), Impulso Nervoso (Nerve impulse), Sistema sensorio-motor (sensory-motor system), Eletroencefalografia (electroencephalography). O período de publicação dos artigos utilizados foi de fevereiro de 1990 a maio de 2014. Foram selecionados: uma dissertação de mestrado, duas teses de doutorado, uma tese de livre docência, um trabalho de conclusão de curso, doze artigos e seis capítulos de livros que caracterizassem e/ou discutissem o tema Interface cérebro-máquina.

3 DA RECEPÇÃO DO ESTÍMULO EXTERNO À TRANSDUÇÃO EM IMPULSO ELÉTRICO

Devido a nossa grande capacidade de adaptação, nós seres humanos vivemos em função de descobertas, de novas aprendizagens e da manutenção de nossa sobrevivência, para isso, buscamos responder de forma adaptativa às demandas ambientais. Para que haja a comunicação com o meio, é necessário que o sistema nervoso se encarregue de estabelecer sua comunicação não só com o mundo, mas também com o seu próprio organismo.

O sistema nervoso é o principal sistema do corpo humano, pois controla e coordena todas as suas funções, sendo responsável pela consciência das informações, das sensações, dos pensamentos e do processamento das nossas experiências e vivências. Este sistema é constituído por nervos, gânglios e centros nervosos e pode ser dividido em: sistema nervoso central (SNC) e sistema nervoso periférico (SNP). O sistema nervoso central é constituído pelo encéfalo e medula espinal, já o periférico compreende os nervos cranianos, raquidianos e gânglios (LUNDY-EKMAN, 2008).

Ao nível celular, o tecido nervoso é composto por dois tipos de células: neurônios e células da Glia. Os neurônios captam, transformam e transmitem informações entre si e para todo o corpo por meio de alterações em seu potencial elétrico. Já as

Glias, são responsáveis por regular a concentração de íons, nutrientes e mensageiros químicos nas proximidades do neurônio e exercem, também, um importante papel na agregação e sustentação dos neurônios (HAINES, 2006; LENT, 2010).

Como supracitado os neurônios têm a função de formar uma rede que receba, processe, armazene e envie de volta ao ambiente informações em suas diversas formas. De acordo com Haines (2006) os neurônios que recebem informação do ambiente são chamados de sensoriais primários e estão divididos em cinco grupos: fotorreceptores, quimiorreceptores, mecanorreceptores, termorreceptores, nociceptores. Na maioria desses receptores, um estímulo, resulta num potencial despolarizante gradual no neurônio sensorio-motor primário chamado de Potencial de Ação (PA). Este processo de conversão do estímulo sensorial numa forma interpretável pelo sistema nervoso é chamado de transdução.

Os fotorreceptores são do tipo cones e bastonetes que estão localizados na retina e são especializados em transduzir a energia luminosa na forma de fótons. Os quimiorreceptores são encontrados, principalmente, entre as células gustativas e olfativas, mas podem ser encontradas, também, no hipotálamo, no qual estes percebem a glicose sanguínea baixa. Os nociceptores transduzem estímulos nocivos, como por exemplo, a dor. Estão presentes principalmente na pele, assim como os termorreceptores que sentem a mudança de temperatura. Estes últimos também podem ser encontrados nas vísceras (HAINES, 2006).

Segundo Voight e Cook (2003) os mecanorreceptores possuem a função de tradutores biológicos, que são capazes de converter a energia mecânica da deformação física em potenciais de ações nervosas, gerando assim, informações proprioceptivas.

4 NEURÔNIOS E POTENCIAL DE AÇÃO

No processo de transmissão de informações sabemos que o neurônio é o nosso facilitador. Ele por sua vez, é uma célula excitável geradora de potenciais de ação (PA). Segundo Lent (2010) PA é um pulso elétrico gerado pela membrana plasmática, rápido, que se propaga com enorme velocidade ao longo do axônio. Têm características próprias, tais quais: forma gráfica invariante, ou seja, ocorrerá sempre da mesma forma para cada tipo de neurônio, constituindo assim a "lei do tudo-ou-nada".

Essa lei é conhecida como a capacidade do impulso de ocorrer ou não, mas quando o mesmo ocorre é de forma invariavelmente igual em amplitude, duração e forma de onda. E a outra característica que é de suma importância é a sua condução ao longo do axônio. É por causa disso que as informações ou mensagens podem ser enviadas de uma área funcional para outra em meio aos feixes de fibras nervosas. Ao passo que os neurônios estão conectados e o PA alcança o fim do axônio, há uma emissão de neurotransmissores do neurônio pré-sináptico no curto espaço que há

entre eles, que é chamado de fenda sináptica. Após esta liberação, os neurotransmissores se ligam aos receptores presentes nos dendritos do neurônio pós-sináptico, dando início a um novo impulso e desta forma, dando continuidade à transmissão de informação. A este processo dá-se o nome de sinapse.

Os neurotransmissores serão importantes nessa etapa por facilitar a transmissão sináptica, promovendo respostas excitatórias ou inibitórias entre os neurônios no momento das sinapses. Para Lent (2010) a sinapse é entendida como a comunicação entre um terminal de uma célula nervosa e um dendrito ou o corpo (mais raramente, outro axônio) de uma segunda célula, podendo esse encontro ser químico, elétrico ou eletroquímico.

Segundo Nishida (2013), as sinapses elétricas são abundantes no SNC e no SNP, sendo encontradas também no miocárdio, na musculatura lisa do intestino, em hepatócitos e em células epiteliais do cristalino. Nesta sinapse a transmissão do impulso elétrico é feita diretamente entre as células por meio da *GAP Junction* (junção composta por proteínas de membrana que servem como canais de baixa resistência elétrica). Já as sinapses químicas são as mais comuns no organismo, que como supracitado, os neurotransmissões irão atuar em proteínas receptoras da membrana da célula pós-sináptica, podendo sua ação ser excitatória ou inibitórias.

Vale salientar que os neurônios possuem uma carga elétrica interior relativamente mais negativa se comparado ao fluido extracelular, e isso ocorre devido à presença de íons de cloreto (Cl^-), que são predominantes. No meio externo, há principalmente íons positivos, tais como moléculas de sódio (Na^+). Essa distribuição desigual é mantida pela membrana plasmática que limita a passagem de íons para o interior do neurônio. Os canais iônicos servem para permitir a entrada de íons dentro do neurônio e podem ser controlados por meio de mudanças na voltagem do neurônio, neurotransmissores e distorções mecânicas da membrana (HAINES, 2006).

Uma mudança na voltagem do neurônio permite uma imediata amplificação da entrada de íons na célula, que ocorre com a abertura simultânea de inúmeros canais iônicos. Esta amplificação se propaga a partir da pequena alteração eletroquímica na membrana, gerando um PA que se propaga anterogradamente ao longo do comprimento total do axônio até as terminações axonais. Essas mudanças na voltagem podem resultar em despolarização do neurônio, quando os íons positivos, no caso o sódio (Na^+), entrarem na célula, reduzindo sua carga negativa, ou em hiperpolarização, quando os íons positivos, no caso o potássio (K^+), saírem, aumentando a carga negativa dentro do neurônio (HAINES, 2006).

Todas essas variações eletroquímicas tornam possíveis, o rastreamento da atividade neuronal por meio de técnicas de bases eletromagnéticas, de modo que, áreas que estão ativas durante determinada função do corpo podem ser rastreadas, como por exemplo, o comportamento de movimentar um braço.

5 INTERFACE CÉREBRO – MÁQUINA (ICM): FUNDAMENTOS E PRINCÍPIOS

A ICM é um sistema que utiliza medições da atividade do SNC e as converte em sinais artificiais, de modo que, podem: substituir, restaurar, realçar, suplementar, ou melhorar os sinais naturais do SNC e, desta forma, mudar a relação do ser humano com seu ambiente externo ou interno (WOLPAW e WOLPAW, 2012).

A primeira ICM foi descrita pelo Dr. Grey Walter, em 1964. Ele conectou eletrodos diretamente às áreas motoras do cérebro de um paciente e o orientou a pressionar um botão para avançar um projetor de slides enquanto sua atividade cerebral relativa à tarefa era gravada. Em seguida, esse sistema de eletrodos foi ligado ao projetor para que este avançasse os slides sempre que a atividade cerebral do paciente indicasse que ele queria pressionar o botão. Curiosamente, Dr. Walter descobriu que ele tinha que introduzir um atraso a partir da detecção da atividade cerebral, até o projetor de slides avançar, para que o projetor de slides pudesse avançar antes que o paciente pressionasse o botão (GRAIMANN; ALLISON; PFURTSCHELLER, 2010).

O objetivo principal das primeiras ICM's era permitir a transferência de informação na ausência total de movimento, estabelecendo uma forma de comunicação entre o cérebro e um dispositivo externo como alternativa à ligação nervosa e muscular utilizada pelo corpo humano. É deste modo que a ICM surge como um novo paradigma que permite às pessoas comunicar a intenção de realização de determinado movimento com o mundo exterior, sem a interferência de seu corpo, utilizando puramente seu cérebro. Tal como mover os braços de um avatar virtual, ou movimentar uma cadeira de rodas (DIAS, 2009; NICOLELIS ET AL., 2013).

De acordo com Graimann; Allison; Pfurtscheller (2010) existem algumas regras para que um sistema possa ser considerado como um sistema de ICM, sendo estas: 1) a atividade deve ser gravada diretamente do cérebro; 2) deve ser fornecido um feedback para o usuário, sendo este feito em tempo real; 3) é imprescindível que haja um controle intencional, ou seja, o usuário deve escolher mentalmente para poder executar uma tarefa. Deste modo, diante de tais regras, é possível afirmar que os dispositivos que apenas passivamente detectam mudanças na atividade cerebral que ocorrem sem qualquer intenção, como a atividade EEG associada à carga de trabalho, excitação, ou sono, não são ICM.

Como já descrito, a atividade cerebral produz impulsos elétricos. Assim, sensores eletromagnéticos podem detectar alterações na atividade elétrica bem como definir a área e a duração da atividade cerebral.

De acordo com Barbosa (2010) a estrutura geral de funcionamento de uma ICM segue quatro etapas, são elas: 1) aquisição e pré-processamento dos dados, de modo

a registrá-los; 2) extração de características; 3) definição dos comandos (classificação); 4) envio de comandos para o mundo exterior.

A primeira etapa se refere ao processo de mediação e armazenamento dos sinais cerebrais, os quais devem passar por um tratamento adequado por meio de filtros para limpeza de ruídos e amplificação de sinal. Na segunda etapa os sinais são selecionados e transformados, dando origem a um conjunto de atributos que sejam o mais informativo possível, de modo que possam descrever o tipo de sinal e sua localização, é nessa fase em que os sinais são separados e classificados de maneira a destacar sinais provenientes de outras áreas cerebrais, senão as que se busca registrar. Após isso os sinais cerebrais são classificados de modo a discriminar padrões para determinados comandos e por fim, estes comandos são traduzidos para o destino final, seja a movimentação de um cursor de mouse, ou a movimentação de uma cadeira de rodas (BARBOSA, 2010; MELO JUNIOR ET AL., 2012).

As técnicas utilizadas na ICM são divididas em dois grupos: as não invasivas, que não precisam de cirurgia; e as invasivas, que necessitam de cirurgia. Dentre as técnicas invasivas podemos citar a Eletrocorticografia (ECOG) na qual é realizada uma cirurgia intracraniana para a implantação de eletrodos no córtex para registrar a atividade cerebral, apesar de o sinal ter ótima qualidade, este método traz sérios riscos para o paciente. Em relação aos métodos não invasivos, ressalta-se a eletroencefalografia (EEG) em que se usam eletrodos em contato com o couro cabeludo para detectar e registrar as alterações da atividade elétrica do cérebro. As vantagens deste tipo de técnica é que não há a necessidade de cirurgia, seu custo é muito inferior e podem ser utilizados por longos períodos, no entanto, este método apresenta um sinal de baixa qualidade se comparado às técnicas invasivas (LEBEDEV; NICOLELIS, 2006; FARIAS, 2014).

6 INTERFACE CÉREBRO – MÁQUINA (ICM): ESTRATÉGIAS DE CONTROLE E MODULAÇÃO DA ATIVIDADE CEREBRAL

Medir a atividade cerebral de forma eficaz é primordial para a comunicação cérebro-máquina, no entanto, é importante ressaltar que apenas o processo de medição não é suficiente. É preciso entender que as técnicas de ICM não podem ler a mente ou decifrar pensamentos, sua função é interpretar a intenção do usuário por meio do monitoramento da atividade cerebral. O sistema ICM detecta e classifica os padrões específicos de atividade nos sinais cerebrais ativos que estão associados a uma tarefa específica.

Desta forma, o que o usuário da ICM necessita fazer para produzir esses padrões é determinado pelas estratégias mentais. Estas, por sua vez, são a base de qualquer comunicação entre cérebro e computador, visto que a estratégia mental irá determinar o que o usuário tem que fazer para produzir por vontade própria padrões cerebrais que a ICM possa interpretar (GRAIMANN; ALLISON; PFURTSCHELLER, 2010).

Levando em consideração que o cérebro é responsável por comandar todas as funções do nosso corpo, diversos tipos de sinais estão sendo produzidos por diversas áreas e de maneira simultânea, deste modo percebe-se que para realizar o monitoramento de uma atividade específica é preciso modular o funcionamento cerebral, gerando sinais mais específicos (voluntários) para permitir que o sistema de ICM possa interpretar as intenções do usuário, estes sinais são chamados de sinais de controle. As técnicas de controle de sinais mais utilizados são: *Visual Evoked Potentials* (VEP), *slow cortical potentials* (SCP), *P300 evoked potentials* (P300), e *sensorimotor rhythms* (ALONSO; GIL, 2012).

Visual Evoked Potentials (VEP) são modulações da atividade cerebral que ocorrem no córtex visual após receber um estímulo visual. Este tipo de modulação é relativamente fácil de detectar, uma vez que o estímulo esteja próximo do centro do campo visual do usuário o que gera uma reação no córtex visual. A VEP pode ser classificada de três formas: 1) o tipo de estímulo, que pode variar de estimulação por flash de luz ou treliças quadriculadas; 2) a frequência, que pode ser transitório (TVEP) ou seguir um curso estável (SSVEP); 3) preenchimento do campo visual, que podem ser campo visual inteiro ou dividido. Em sistemas de ICM as SSVEP são comumente usadas, pois, devido ao estímulo ser constante, são mais suscetíveis para que o usuário permaneça por longos períodos. A vantagem de utilizar VEP como sinal de controle é que este tipo de sinal necessita de muito pouco treinamento, no entanto, apresenta o inconveniente de que o usuário precisa manter os olhos sempre em direção à tela (YIJUN ET AL., 2006; ALONSO; GIL, 2012).

Slow Cortical Potentials (SCP) são mudanças na frequência da tensão da atividade cortical. Uma lentidão na tensão que pode ser percebida no EEG e pode durar de um segundo até vários segundos. Podem ser positivas, quando apresentam diminuição da atividade em grupos de neurônios, ou negativas quando apresentam aumento da atividade. A execução deste tipo de sinal pode ser treinado por meio de dispositivos que forneçam *feedback* para que o usuário desenvolva uma auto-regulação. Um dos principais problemas apresentados nesta técnica é que a auto-regulação pode ser influenciada por inúmeros fatores físicos e psicológicos, tais como a privação de sono, a motivação e até o estresse, podem vir a prejudicar o treinamento. Apesar de ser necessário um treinamento constante por vários meses, o SCP é recomendado principalmente para pacientes que sofrem de ELA. (BIRBAUMER ET AL., 1990; ALONSO; GIL, 2012)

O *P300 Evoked Potentials* (P300), assim como o PEV, trata-se da evocação de potenciais corticais por meio de estímulos; no caso do P300 os estímulos podem ser visuais ou auditivos. A aplicação do P300 baseado em estímulos visuais compreende uma matriz de letras, números, ou outros símbolos. Estes são organizados em forma de tabuleiro e enquanto piscam aleatoriamente o EEG é monitorado a fim de perceber os picos positivos causados por esse tipo de estímulo. Esta técnica apresenta baixa precisão na detecção dos potenciais evocados, mas isso pode ser minimizado com modificações na

variação de cor ou com aumento da frequência dos estímulos em cada fase de aplicação. Em contraste com VEP, o P300 não apresenta grandes variações na resposta quando o usuário não olha diretamente no alvo (FERREIRA, 2008; ALONSO; GIL, 2012).

Embora sejam utilizados na maioria das vezes estímulos visuais, estímulos auditivos têm sido usados por pessoas com deficiência visual. Os estímulos auditivos consistiam em um sinal sonoro emitido com diferentes frequências, agrupadas em duas seleções de sons diferentes. A seleção foi apresentada a partir de dois alto-falantes, um no lado esquerdo e o outro no direito. Cada seleção continha um sinal sonoro alvo, e frequentes sinais sonoros não alvos, sendo que os sinais alvos eram apresentados de forma independente para cada orelha. Em cada ensaio, a tarefa dos participantes era de concentrar a atenção nos estímulos alvo apresentados em ambos os lados, deste modo, o sinal gerado ao direcionar a atenção para um dos fluxos de estímulo era detectado pela ICM (FURDEA ET AL, 2009).

No *Sensorimotor Rhythms* são evocadas oscilações da atividade cerebral de áreas sensório-motoras por meio de estimulação sensorial, realização de um movimento, ou apenas a imaginação deste. As oscilações na atividade cerebral são normalmente classificadas de acordo com faixas de frequências específicas que têm o nome de letras gregas, tais como: alpha, beta, delta, teta, gama. A atividade alpha gravada a partir de áreas sensório-motoras também é denominada de atividade μ' (Miu) e se caracterizam por produzir intenção de movimento. A diminuição da oscilação em uma faixa de frequência específica é chamada de *event-related desynchronization* (ERD).

Do mesmo modo, o aumento de oscilação numa banda de frequências específica é chamado de *event-related synchronization* (ERS). Estes dois tipos de modulações podem ser produzidos de forma consciente por meio da imagética motora, que seria a imaginação do movimento sem a execução do movimento. As faixas de frequência que são mais importantes para a imagética motora são *Miu* e beta em sinais de EEG. Vale ressaltar que o treino deste tipo de técnica deve enfatizar experiências cenestésicas, e não apenas representações visuais, pois acabaria estimulando o córtex visual, ao invés do córtex sensório-motor (DIAS, 2009; GRAIMANN; ALLISON; PFURTSCHELLER, 2010; ALONSO; GIL, 2012).

7 TRADUÇÃO DA ATIVIDADE CEREBRAL EM COMANDOS DIGITAIS

Após modulada a atividade cerebral o próximo passo é a leitura desse sinal. Por mais que o usuário esteja focado, executando uma atividade, diversos outros sinais estão sendo transmitidos pelo cérebro. Desta forma, de acordo com Mussatto e Silva (2014), são necessárias técnicas de processamentos e decodificação de sinais eficientes para que possam isolar o sinal e reduzir os ruídos, não apenas com relação a sua localização, mas também com relação ao momento em que ocorreu. Em seguida esses sinais resultantes são digitalizados e aplicados a um algoritmo que poderá isolar sinais

específicos de partes específicas e ignorar sinais que não serão importantes. Alguns exemplos de algoritmos utilizados são: algoritmos genéticos, filtro de Kaman, Filtro de Wiener, filtro de partículas, métodos Bayesianos, método vetor de população, dentre outros (COSTA, 2006; LI ET AL., 2009; ALONSO; GIL, 2012; MUSSATTO; SILVA, 2014.)

Os diferentes tipos de algoritmos acima citados estão divididos em dois grupos: Algoritmos de regressão e algoritmos de classificação. Os algoritmos de regressão empregam os recursos extraídos de sinais de EEG como variáveis independentes para prever as intenções dos usuários, já os algoritmos de classificação usam os recursos extraídos como variáveis independentes para definir limites entre os diferentes alvos o espaço recurso (ALONSO; GIL, 2012).

O filtro de Wiener e o de Kalman são modelos lineares, que normalmente utilizam o primeiro conjunto entrada de sinais como modelo para correlacionar com os próximos, é um trabalho de aproximação na qual só são aproveitados apenas os sinais que se parecem com o modelo de entrada, deste modo são mais "leves", apesar de não descrever muito bem populações de neurônios, apresenta um baixo custo computacional se comparados aos métodos não lineares como filtro de partículas e o método Bayesiano, que por serem mais complexos, acabam sendo abordagens que dificultam sua implementação em tempo real.

Segundo Mussatto e Silva (2014) um dos algoritmos mais utilizados é o filtro de Wiener. É um algoritmo de regressão linear múltipla com o qual é possível somar linearmente a atividade elétrica produzida por neurônios corticais registrados simultaneamente, de modo que, ao monitorar a atividade do córtex sensorio-motor é possível gerar previsões precisas da localização futura de um membro do indivíduo.

Por fim, após o sinal ser decodificado e processado ele é transmitido a um software que ao ler o resultado do algoritmo envia o comando para os dispositivos finais, tais como um teclado virtual ou uma cadeira de rodas.

Vale ressaltar que, mesmo com todos os avanços das técnicas de detecção, a quantidade de informação obtida a partir dos neurônios ainda é muito baixa, o que, de acordo com Tehovnik; Woods; Slocum (2013) a falta de informação torna a comunicação de ICM um tanto quanto pobre.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A interface cérebro-máquina é um grande avanço no modo que o ser humano se relaciona com as máquinas. Em plena era da tecnologia as barreiras tecnológicas estão sendo derrubadas dia após dia e com o desenvolvimento das ICMs surge uma forma de interação nova, permitindo pessoas controlarem ferramentas, aparelhos ou avatares virtuais, utilizando apenas o pensamento.

Dentre as diversas aplicações, esse tipo de tecnologia tem especial interesse para pessoas com elevado grau de incapacidade física decorrente de amputações, traumatismos ou doenças neurodegenerativas, como a Esclerose Lateral Amiotrófica (ELA). Esse tipo de sistema poderia trazer de volta a mobilidade para essas pessoas ou até mesmo restaurar algumas funções perdidas.

Apesar das recentes pesquisas terem feito grandes descobertas, a ICM ainda está longe de chegar ao nosso cotidiano. Um dos desafios encontrados é a busca por técnicas não-invasivas que sejam eficazes para a detecção e transmissão de sinais cerebrais. Outro grande desafio é o envio de informações para o cérebro, também de maneira não-invasiva, pois, até então, poucos estudos obtiveram progresso nesse tipo de tecnologia (YOO ET AL., 2013).

Com isso, vale salientar a importância de que, nas futuras pesquisas acerca do sistema de ICM, os seus objetivos sejam voltados para a busca de técnicas não-invasivas que sejam mais eficazes no processo do envio de informações para o cérebro, para que assim, a ICM possa dar um salto ainda maior, de modo a, por exemplo, devolver a visão a alguém que ficou cego ou devolver a sensibilidade a alguém que usa prótese robótica.

REFERÊNCIAS

ALONSO, L. F. N. e GIL J. G. Brain computer interfaces, a review, **Sensors**, v.12, p.1211-1279, 2012. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1424-8220/12/2/1211>>. Acesso em: 4 fev. 2015.

BARBOSA, A. O. G. **Controle de um manipulador robótico através de uma interface cérebro máquina não-invasiva com aprendizagem mútua**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, 2010.

BIRBAUMER, N.; ELBERT, T.; CANAVAN, A. G.; ROCKSTROH, B. Slow potentials of the cerebral cortex and behavior. **Physiol. Rev.** 70, 1990, p.1-41, Pubmed. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/20752394_Slow_potentials_of_the_cerebral_cortex_and_behavior>. Acesso em: 28 fev. 2015.

COSTA, E. J. X. **Estudo da atividade elétrica cerebral em humanos e bovinos usando processamento digital de sinais e instrumentação eletrônica**. 2006. Tese (Livre Docência em Processamento de Sinais Biológicos) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/74/tde-08102007-070647/>>. Acesso em: 12 abr. 2015.

DIAS, N. S. **Interface cérebro-máquina baseada em biotelemetria eléctrodos secos**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Electrónica e de Computadores) – Universidade do Minho, Braga, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1822/9897>>. Acesso em: 1 fev. 2015.

FARIAS, F. C. **Interface cérebro-máquina**: reconhecimento de sinais cerebrais através de reservoir computing. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Computação) – Universidade de Pernambuco, Recife, 2014. Disponível em: <tcc.ecomp.poli.br/20141/TCCFelipeCostaFarias.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2015.

FERREIRA, A. **Uma proposta de interface cérebro-computador para comando de cadeiras de rodas**. 2008. Tese. (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008. Disponível em: <http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_2854_TeseDoutoradoAndreFerreira.pdf>. Acesso em: 8 fev. 2015.

FURDEA, A.; HALDER, S.; KRUSIENSKI, D. J.; BROSS, D.; NIJBOER, F.; BIRBAUMER, N.; KÜBLER, A. An auditory oddball (P300) spelling system for brain-computer interfaces. **Psychophysiology**, 2009, 46, 617-625. Disponível em: <<http://ww2.odu.edu/~dkrusien/papers/PsychoPhys2009.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 015.

GRAIMANN, B.; ALLISON, B.; PFURTSCHELLER, G. **Brain-Computer Interfaces**: a gentle introduction. 2010. Disponível em: <http://www.springer.com/cda/content/document/cda_downloadaddocument/9783642020902-c1.pdf?SGWID=0-0-45-1015086-p173959822>. Acesso em: 31 jan. 2015.

HAINES, D. E. *et al.* **Neurociência fundamental**: Com aplicações básicas e clínicas. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

LEBEDEV, M. A.; NICOLELIS, M. A. L. Brain-machine interfaces: past, present and future. **Trends in Neurosciences**, v.29, n.9, Duke University, Durham, USA, 2006. Disponível em: <https://cs.rochester.edu/~kautz/Courses/290Bspring2008/NeuroRobots/TiNS_2006.pdf>. Acesso em: 6 fev. 2015

LENT, R. **Cem bilhões de neurônios**: conceitos fundamentais da neurociência. 2ed. São Paulo: Atheneu, 2010.

LI, Z.; O'DOHERTY, J. E.; HANSON T. L.; LEBEDEV M. A.; HENRIQUEZ C. S. *et al.* Unscented Kalman Filter for Brain-Machine Interfaces, 2009. **PLoS ONE** 4(7): e6243. doi:10.1371/journal.pone.0006243. Disponível em: <<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0006243>>. Acesso em: 26 de março de 2015.

LUNDY-EKMAN, L. **Neurociências**: Fundamentos para Reabilitação. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008

- MELO JUNIOR, P. A. *et al.* **Fundamentos da operação de interfaces cérebro-computador**, 2012. Disponível em: <<http://www.prp.rei.unicamp.br/pibic/congressos/xxcongresso/paineis/106203.pdf>>. Acesso em: 6 fev. 2015.
- MUSSATTO, G. G.; SILVA, S. A. Perspectivas e Potencialidades da Interface Cérebro-Máquina. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**, n.13, 2014. p.51-56. Disponível em: <http://www.fsma.edu.br/si/edicao13/FSMA_SI_2014_1_Estudantil_3.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2015.
- NICOLELIS, M. A. L. Brain-to-brain Interface for real-time sharing of sensorimotor information, 2013. **Scientific Reports Sci Rep.**, 2013. 3:1319. doi: 10.1038/srep01319. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23448946>>. Acesso em: 25 jan. 2015.
- NISHIDA, M. S. **Mecanismos de comunicação entre os neurônios e dos neurônios com os órgãos efetadores**. Curso de Fisiologia, 2013. Ciclo de Neurofisiologia. Departamento de Fisiologia, IB Unesp, Botucatu. Disponível em: <<http://www.ibb.unesp.br/Home/Departamentos/Fisiologia/Neuro/04.sinapse.pdf>> Acesso em: 10 fev. 2015
- TEHOVNIK, E. J.; WOODS, L. C.; SLOCUM, W. M. Transfer of information by BMI, 2013. **Neuroscience**, 255, 134-146, 2013. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24120558>>. Acesso em: 12 abr. 2015.
- VOIGHT, M; COOK, G. Controle neuromuscular deficiente: treinamento de reativação neuromuscular. **Prentice WE, Voight ML. Técnicas em reabilitação musculoesquelética**. Porto Alegre: Artmed, 2003.
- WOLPAW, R.; WOLPAW, E.W. **Brain-computer interfaces: principles and practice**. Oxford University Press, 2012.
- YIJUN, W.; RUIPING, W.; XIAORONG, G.; BO, H.; SHANGKAI, G. A practical VEP-based brain-computer interface. **IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.** 2006, 14, 234-240. Disponível em: <<http://sccn.ucsd.edu/~yijun/pdfs/TNSRE06.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2015.
- YOO, S. S., KIM, H., FILANDRIANOS, E., TAGHADOS, S. J. & Park, S. Non-invasive brain-to-brain interface (BBI): establishing functional links between two brains. **PLoS One** 8, e60410, 2013. Disponível em: <<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0060410>>. Acesso em: 4 fev. 2015.

Data do recebimento: 28 de setembro de 2015

Data da avaliação: 28 de setembro de 2015

Data de aceite: 28 de setembro de 2015

-
1. Graduando do curso de Psicologia do Centro universitário Tiradentes – UNIT/AL. E-mail: paballo14@hotmail.com
 2. Graduanda do curso de Psicologia do Centro universitário Tiradentes – UNIT/AL. E-mail: afermoseli@hotmail.com
 3. Graduanda do curso de Psicologia do Centro universitário Tiradentes – UNIT/AL. E-mail: afermoseli@hotmail.com
 4. Professor do Curso de Psicologia do Centro Universitário Tiradentes – UNIT/AL. E-mail: afermoseli@hotmail.com