

# *Método de Controle para Análise de Ondas EEG aplicado ao Controle de Ambiente*

Alexandre dos Santos Roque, Cristina Paludo Santos, Matheus Hentges Ferreira

Departamento de Engenharias e Ciência da Computação (DECC)

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, URI

Santo Ângelo – RS, Brasil

{roque, paludo}@san.uri.br, matheushfer@hotmail.com

**Resumo** — Este artigo descreve o desenvolvimento de um modelo conceitual para uma técnica de controle baseada em análise de ondas encefalográficas aplicada à Tecnologia Assistiva de controle de ambiente. O modelo de controle tem como objetivo facilitar a interação entre o indivíduo e o ambiente, realçando os aspectos da comunicação existente, bem como acrescentar qualidade na execução de determinadas tarefas do dia-a-dia. Resultados experimentais demonstram a viabilidade do processo de comunicação desenvolvido, observado pelo sucesso em 78,33% dos testes de comunicação realizados.

**Palavras-chave** — *Eletroencefalografia, Controle de Ambiente, Tecnologia Assistiva, Interface Cérebro-Máquina*

## I. INTRODUÇÃO

A evolução da área de Interação Humano-Computador (IHC) tem proporcionado mudanças significativas na forma como utilizamos sistemas interativos. Interfaces sensível ao toque, rastreamento dos olhos para interação com computadores, interação por gestos e interações a partir da interpretação dos biopotenciais humanos são alguns exemplos que demonstram a amplitude das novas tecnologias e tendências na área de IHC que surgem para proporcionar sempre a melhor experiência para o usuário, aumentando a sua produtividade, e oferecendo um fluxo de ações intuitivo para a execução das mais diversas atividades.

Dentre as novas possibilidades de interação destaca-se as Interfaces Cérebro-Computador (ICC) que permitem a interação do ser humano com computadores onde não é utilizado nenhum músculo, pois o controle do sistema é realizado através da captura da atividade elétrica cerebral do usuário. Este domínio de pesquisa vem sendo estudado desde meados de 1970 por diversas áreas do conhecimento como, por exemplo, Neurociência, Biomedicina, Engenharia de Controle e Automação, e Ciência da Computação. Os principais beneficiários das pesquisas em Interface Cérebro-Computador são usuários com severas restrições motoras com incapacidades na comunicação ou interação com o ambiente a sua volta. No entanto, compreende-se que pessoas sem qualquer deficiência são, também, potenciais usuários de soluções que promovam a interação com computadores via os sinais gerados pelo cérebro humano da forma mais natural o possível.

Por meio de equipamentos de monitoração adequados pode-se ler muitas formas de fenômenos bio-elétricos com

relativa facilidade. Dentre estes fenômenos destaca-se a eletroencefalografia (EEG) que permite o registro da atividade cerebral a partir da coleta de dados referentes as ondas cerebrais liberadas pela descarga elétrica sincronizada de milhares ou milhões de neurônios e/ou fibras nervosas. Estes dados devidamente tratados geram informações que podem ser correlacionadas a diversos estados e sintomas dos seres humanos [10].

Existem diversos projetos utilizando o EEG como meio de interação entre homem e máquina aplicados nas mais diversas áreas e com objetivos distintos como, por exemplo, os trabalhos desenvolvidos por [9] que auxiliam na educação de indivíduos com paralisia cerebral e [7] que envolve o estudo e desenvolvimento de próteses robóticas neurocontroladas para utilização em indivíduos com ausência de determinados membros. Este projeto destina-se a explorar tal interação com um foco diferente dos demais projetos, efetuando uma integração da análise eletroencefalográfica com os conceitos e premissas das Tecnologias Assistivas (TA) de Controle de Ambiente.

As TA's baseadas na análise de EEG buscam trazer ao indivíduo com deficiência novas possibilidades de interagir com o meio, sem utilizar para isso as vias de comunicação normais como nervos e músculos. O objetivo é utilizar sinais puramente cerebrais, transcrevendo as vontades dos indivíduos para diferentes tipos de dispositivos [2].

Para tanto, é apresentado neste artigo um modelo conceitual para uma técnica de controle baseada em análise de ondas encefalográficas aplicada à Tecnologias Assistivas de controle de ambiente. Acredita-se que esta pesquisa contribua para ampliar a abrangência dos recursos desenvolvidos, visto que considera a interação de forma integrada com os diferentes tipos de dispositivos existentes no ambiente e, conseqüentemente, contribua no processo de mitigação das limitações do indivíduo no espaço físico, atingindo pontualmente os objetivos que tangem uma TA de Controle de Ambiente. Uma descrição mais detalhada do modelo proposto é apresentada nas seções subsequentes.

## II. INTERFACE CÉREBRO-COMPUTADOR

Interface Cérebro-Computador (ICC) é um sistema onde estes dois componentes se adaptam mutuamente, para permitir a uma nova forma de comunicação[3][12]. Uma ICC depende

da captura de sinais gerados pelo cérebro humano, que são obtidos pelos equipamentos de EEG. A forma de captura desses sinais, pode ser realizada de três diferentes formas: i) invasiva (compreende implantes dentro da massa cefálica do usuário); ii) parcialmente invasiva (envolve implantes dentro da caixa craniana, porém fora do cérebro); e iii) não invasiva (é possível obter informações do cérebro sem nenhum implante, utilizando sensores completamente externos ao corpo humano) [12]. As ICCs com captura dos sinais cerebrais não invasivas, dada a evolução das tecnologias envolvidas atualmente, são as mais convenientes, fáceis de utilizar, com captura de sinais em diferentes faixas de frequência, e não apresenta complicações à saúde.

Dentre as técnicas existentes para capturar informações do cérebro destaca-se neste trabalho a eletroencefalografia (EEG) que permite capturar a atividade elétrica do cérebro por meio de sensores chamados de eletrodos. Segundo [3] a captura EEG possui a melhor resolução temporal, ou seja, é a que captura sinais mais rapidamente e, por isso, é o método mais utilizado atualmente em ICCs.

Existem diversos equipamentos não invasivos como, por exemplo, eletrodos EEG, *scanner* fMRI e sensores espectroscópicos. Mais recentemente empresas vêm criando *headset* (conjunto de sensores montados em um capacete, tiara ou touca) com maior portabilidade, menor custo e *designs* modernos, visando proporcionar mais conforto aos usuários do que os equipamentos citados [5].

#### A. Trabalhos Relacionados

Na área de ICC percebe-se a existência de um número maior de pesquisas e projetos cujo foco é o estudo e desenvolvimento de próteses. Isso se deve ao fato de que o ganho de acessibilidade que elas poderão proporcionar no futuro é muito significativo. Porém, ao mesmo tempo que há benefícios em termos de acessibilidade perde-se na abrangência do recurso desenvolvido, visto que as mesmas são projetadas para resolução de problemas bastante específicos. Com isso suas contribuições acabam se limitando a um número pequeno de indivíduos que de fato vão fazer uso dos recursos criados. Além disso, há que se considerar que em muitos casos o uso de prótese não apresenta-se como uma alternativa, visto que existem casos em que o problema não é a ausência de um membro em específico, sendo necessário outras alternativas além do uso de próteses para minimizar as dificuldades motoras do usuário.

Sendo assim, visando ampliar o escopo das pesquisas para além do uso de ondas encefalográficas para o desenvolvimento de próteses neurocontroladas, este trabalho propõe a integração dos conceitos advindos da Eletroencefalografia, Tecnologias Assistivas e Controle de Ambiente para estabelecer um tipo de interação que permita ao indivíduo, independentemente de sua(s) disfunção(ões) motora(s), aprimorar seus aspectos de acessibilidade ao estabelecer comunicação com o ambiente como um todo.

A análise eletroencefalográfica juntamente com as TA's, vem sendo utilizadas em diversas áreas, como por exemplo, aplicações que auxiliam na educação de indivíduos com paralisia cerebral [9]; estudo e desenvolvimento de próteses

robóticas neurocontroladas para utilização em indivíduos com ausência de determinados membros [7]; na criação de novas formas de controlar meios de transporte como as cadeiras de rodas [13]; no auxílio a leitura, escrita e resposta de e-mails com auxílio de ICC [11], etc.

Assim, pesquisas envolvendo eletroencefalografia e Tecnologias Assistivas não é algo essencialmente novo. Existem diversos projetos fazendo uso destes conceitos, porém, as Tecnologias Assistivas se dividem em diversas categorias e algumas delas foram e estão sendo mais exploradas como, por exemplo aquelas relacionadas à mobilidade [13] e órteses e próteses [7].

### III. MODELO CONCEITUAL PROPOSTO

O modelo conceitual de controle consiste basicamente numa representação abstrata que reúne todas as partes que definem como deverá ocorrer o processo comunicação entre o indivíduo e a aplicação de controle instalada no ambiente.

É importante destacar que neste trabalho um modelo é considerado “um resumo, uma construção conceitual que representa processos, variáveis e relacionamentos, sem prover orientações específicas ou práticas para implementação” [15]. Assim, partindo deste conceito e com a integração dos conceitos advindos das áreas de Eletroencefalografia, TAs e Controle de ambientes desenvolveu-se um modelo descritivo de funcionamento e comunicação conforme apresentado na Figura 1.

O modelo é composto por 6 camadas que atuam em conjunto e formam um ambiente neurocontrolado. As camadas estabelecem relação de dependência umas com as outras.

A camada 1 (“Indivíduo”) representa a pessoa com limitação que fará uso da aplicação de controle. É a partir desta camada que serão gerados todos os dados de entrada para o modelo de controle.

A camada 2 (“EEG”) consiste na especificação de qual dispositivo de eletroencefalograma será utilizado pelo indivíduo da camada 1. O EEG é responsável por captar os dados cerebrais e disponibilizá-los através de algum canal de comunicação, que pode ser através um transmissor bluetooth, USB, cabo de rede, portas seriais, dentre outros.

A camada 3 (“Comunicação”) é fortemente acoplada à camada 2, pois sua definição depende diretamente da forma como o EEG disponibiliza seus dados. Cabe a esta camada a especificação dos protocolos a serem utilizados para obtenção dos dados do EEG. Dispositivos que utilizam o bluetooth como meio de comunicação geralmente fazem uso de protocolos de dados seriais para disponibilizar suas informações. Dados nestes formatos podem ser trabalhados de forma simples, facilitando a interpretação e programação.

Na camada 4 (“Aplicação”) é onde ocorre todo o gerenciamento das informações advindas das camadas anteriores, tendo também um retorno de informações da camada 5. É responsável por 4 tarefas: (a) receber dados advindos da camada 3; (b) interpretar os dados advindos da camada 3; (c) verificar sensores da camada 5 e, (d) localizar dispositivos da camada 6 baseando-se pelos sensores da camada 5.

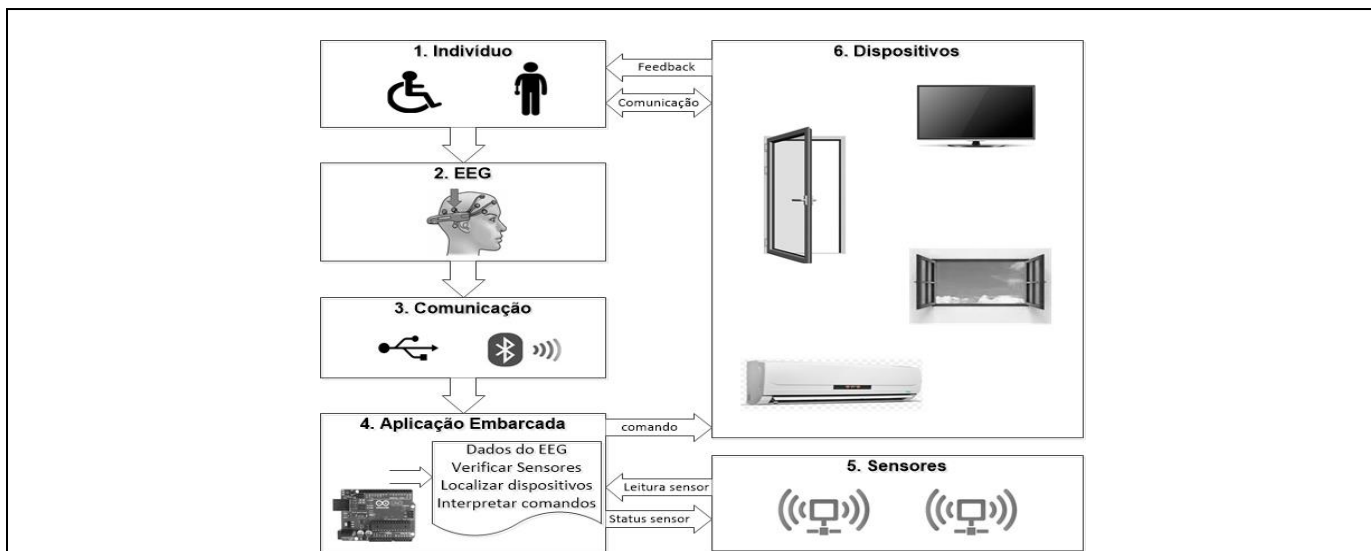


Fig. 1. Modelo Conceitual para uso de EEG como controle de Ambiente.

A camada 5 (“Sensores”) apresenta-se como uma exceção visto que seus dados de saída não são utilizados para alimentar a camada posterior, servindo apenas de retorno para a camada anterior. A seta dupla que vincula a camada 5 a camada 6 indica que cada dispositivo deve estar associado a um sensor, mas não há relação de dados de entrada e saída entre as camadas.

Na camada 6 (“Dispositivos”) são apresentados os resultados advindos das demais camadas. Entre as camadas 1 e 6 existe uma relação de seta dupla tracejada que caracteriza-se como uma relação indireta proporcionada pelo modelo, ou seja, não existe uma comunicação direta entre essas camadas, porém, um dos valores agregados do modelo é justamente o de proporcionar ao indivíduo o aspecto de interação direta com o dispositivo que está a sua frente.

O detalhamento de cada camada tem como objetivo esclarecer o funcionamento do processo como um todo. Não existem especificações técnicas de como algo deverá ser feito ou uma regra fixa para alguma determinada característica do processo, determinando o caráter de generalidade do modelo proposto. No entanto, o estudo revela algumas melhores práticas para execução de determinadas atividades. A Tabela 1 apresenta algumas técnicas que podem ser utilizadas para implementar cada camada do modelo proposto.

Tabela 1. Técnicas de Utilização por Camada do modelo

Camada	Técnica	Justificativa
1	-	Pessoa com a limitação que fará uso da aplicação.
2	Dispositivo leitor de ondas cerebrais	Com o uso de diversos sensores o dispositivo pode fornecer com mais precisão as informações eletroencefalográficas.
3	Bluetooth	Contribui para a mobilidade dos componentes.
4	Sistemas embarcados dedicados.	A aplicação vai depender do tipo de dispositivo leitor de EEG. Dependendo do caso pode ser necessária uma plataforma com maior poder de processamento.
5	PIR (Passive Infrared)	Sensores capazes de detectar presença e movimento.
6	-	Os dispositivos acionados podem ser variados, pois o modelo é amplo e parametrizado.

#### IV. PLANO DE EXPERIMENTAÇÃO

A partir do modelo de comunicação proposto foi desenvolvido um plano de experimentação baseado na análise *what-if* com o intuito de cobrir as alternativas válidas para o trabalho. De acordo com [1] a simulação de modelos possibilita a realização de estudos explorando o conceito de análises no estilo *what-if*. Isso significa dizer que é possível chegar a respostas de questões pertinentes ao funcionamento do sistema no cenário atual e até em como ele poderia vir a se comportar em cenários hipotéticos. “O que aconteceria se...” é a frase que melhor ilustra a finalidade da simulação de um sistema.

Ao executar as simulações, são gerados dados que servirão para posterior análise e julgamento. O intuito é através das simulações obter uma visão geral de funcionamento do sistema desenvolvido a partir do modelo, assim como seu funcionamento perante o mundo real. Para tal, foram elencadas algumas questões no estilo “*what if*” para cada camada do modelo, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Plano de experimentação *what-if*

Camada	What if (E se)	Resposta
1	-	-
2	... a qualidade de leitura do sinal de EEG estiver ruim	repetir processo de leitura do sensor de EEG
3	... a comunicação do EEG com a aplicação falhar	repetir processo de parear para estabelecer a comunicação com o dispositivo
4	... a aplicação não encontrar sensores próximos ... a aplicação não encontrar o dispositivo vinculado ao sensor	aguardar fatia de tempo e repetir processo de busca por sensores próximos Aguardar
5	... os sensores não estiverem retornando valores	aguardar fatia de tempo, repetir processo de leitura dos sensores e caso o problema persista a aplicação deve sinalizar que o sensor está falhando
6	... o dispositivo receber um comando de interação inválido	reiniciar o processo de interação

O objetivo é utilizar as respostas de cada questão como parâmetros para a tomada de decisões durante a implementação dos algoritmos de controle e, também, para detecção de falhas, efetuar calibragem do leitor para diferentes usuários, e também realizar melhorias no modelo proposto.

O plano de experimentação compreende a definição e configuração dos componentes que irão compor cada camada do modelo proposto, bem como o desenvolvimento de um algoritmo de comunicação.

Para implementar a camada 2 utilizou-se o dispositivo *Headset MindWave Mobile (NeuroSky.com)* que consiste em um fone de ouvido com dois sensores de captação de sinal, sendo que um deles fica posicionado sobre a testa (responsável pela captação dos dados de EEG) e o outro fica preso à orelha, e serve como aterramento para a captura da diferença de potencial do eletrodo da posição frontal do dispositivo [17].

A escolha por este dispositivo se deve ao fato do mesmo contar com conectividade *bluetooth* e transmissão de dados utilizando um protocolo de dados serial, o que o torna ideal para atuar juntamente com a plataforma de prototipagem escolhida (plataforma *Arduíno*). Além disso, o mesmo pode ser integrado aos dispositivos móveis dotados dos sistemas operacionais *Android* e *IOS*. No que se refere à relação custo-benefício o *MindWave Mobile* provê recursos semelhantes aos dos concorrentes, porém com um menor custo.

Para a camada de comunicação (camada 3) utilizou-se o módulo *bluetooth* modelo *HC-05*. Para que ocorra o pareamento e a correta transmissão dos dados entre o módulo e o *MindWave* faz-se necessário efetuar algumas configurações no módulo. Esta configuração exige a conexão *bluetooth* com a placa de prototipagem *Arduíno* (camada 4).

A camada 4, caracterizada pelo sistema de controle embarcado, foi desenvolvida seguindo características específicas dos componentes eletrônicos utilizados. Esta camada é responsável pela lógica de controle responsável pelo acionamento dos dispositivos.

O mapeamento de comandos e estados mentais é parte fundamental do algoritmo de controle, pois mostra como serão processados e enviados os comandos para a interação do usuário com o ambiente. O algoritmo inicia com a leitura de sinais do equipamento de EEG, destacando a importância de verificação da qualidade de sinal, pois tal característica é inerente a boa instalação do equipamento e também a adaptação do usuário no uso do equipamento. Em seguida os sensores que estão localizados junto aos equipamentos no ambiente (por exemplo, em frente à janela, porta ou TV), devem ser verificados, respeitando uma fatia de tempo de sincronismo, para assim após detectar que usuário está em frente ao equipamento, processar e enviar o respectivo comando de controle.

Para efetivar o processo de controle entre usuário fazendo uso de um leitor de EEG e um equipamento automatizado, foram realizados os mapeamentos das ondas que representam o algoritmo de controle. São relacionadas as ondas mentais captáveis a partir de qualquer dispositivo de EEG, onde os valores das frequências e o estado mental que cada uma representa são reconhecidos e definidos em [6]. Como exceção existem os estados que são definidos como *eSense*, As

informações *eSense* nada mais são do que uma junção de várias ondas nas quais o próprio dispositivo *MindWave* efetua diversos tratamentos com o intuito de facilitar o reconhecimento de alguns estados mentais do indivíduo. A Tabela 3 apresenta a relação entre as ondas captadas e os comandos que geram ações de controle no ambiente.

Tabela 3. Mapeamento de Comandos e Estados Mentais

Nº	Onda	Freq	Estado	Comando
1	Múltiplas	Não há	Atenção	Iniciar interação com o dispositivo
2	Múltiplas	Não há	Meditação	Encerra interação com o dispositivo
3	Múltiplas	Não há	Piscadas	duas piscadas seguidas ação avançar
4	Múltiplas	Não há	Piscadas	três piscadas seguidas ação retroceder
5	Múltiplas	Não há	Piscadas	Quatro piscada ação trocar função
6	Delta	1-3	Sono	Não há
7	Theta	4-7	Relaxamento	Não há
8	Low Alpha	8-9	Olhos fechados; relaxamento	Não há
9	High Alpha	10-12	Olhos fechados; relaxamento	Não há
10	Low Beta	13-17	Alerta; foco	Não há
11	High Beta	18-30	Alerta; foco	Não há
12	Low Gamma	31-40	Intensa atividade cerebral; multissensorial	Não há
13	Mid Gamma	41-50	Intensa atividade cerebral; multissensorial	Não há

A partir deste estudo foram levantados os estados mentais representados por cada onda cerebral e relacionados a uma ação (denominada de comando). O comando é uma forma de abstrair o conhecimento, sendo mais usual utilizar termos conhecidos do vocabulário do dia-a-dia no lugar dos termos técnicos que fazem referência à eletroencefalografia.

## V. RESULTADOS E TESTES REALIZADOS

Foram considerados três cenários de interação em três diferentes indivíduos. Assim é possível demonstrar a capacidade de captação das ondas cerebrais e posterior tradução em comandos para controle de dispositivos espalhados no ambiente. Os cenários de interação considerados na etapa de testes são apresentados na Figura 2.

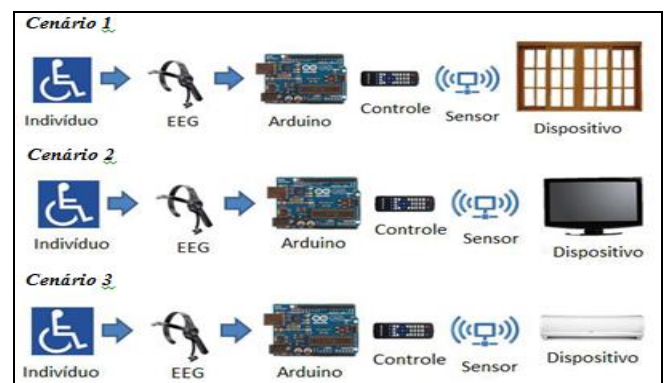


Fig. 2. Cenários de Interação

Cada indivíduo recebeu instruções sobre a existência dos cenários de controle de ambiente, após isso, fazendo uso do leitor de EEG, realizaram tentativas de acionamento de cada um dos comandos do respectivo cenário. Uma vez realizado o mapeamento os cenários, por meio de monitoramento das portas seriais de comunicação, foram coletados os dados dos respectivos comandos resultantes após as tentativas de cada indivíduo.

O cenário 1 representa a simulação de uma interação com uma janela, nomeada na figura acima como “Dispositivo”. O processo de comunicação ocorre através do algoritmo de controle implementado, dos comandos mapeados e de suas respectivas ações em relação ao dispositivo. A Tabela 4 apresenta os comandos utilizados nos testes envolvendo este cenário.

Tabela 4. Comandos para a interação com a Janela

Nº do comando	Ação no dispositivo
1	Iniciar interação com a janela
2	Finalizar interação com a janela
3	Abrir janela quando esta se encontra fechada
3	Fechar janela quando esta se encontra aberta

O cenário 2 representa a simulação de uma interação com uma televisão. Os comandos utilizados para a interação e suas respectivas ações para com o dispositivo são apresentados na Tabela 5. Neste cenário o comando de número 5 permite ao indivíduo navegar pelas funções do dispositivo, no caso da televisão nas funções: canais, volume e brilho da tela.

Tabela 5. Comandos para a interação com a TV

Nº do comando	Ação no dispositivo
1	Iniciar interação com a televisão
2	Finalizar interação com a televisão
3	Avançar na função selecionada da televisão
4	Retroceder na função selecionada da televisão
5	Alterar função da <b>televisão</b>

O cenário 3 representa a simulação de uma interação com um ar condicionado. A Tabela 6 apresenta os comandos mapeados para esta interação.

Tabela 6. Comandos para a interação com o ar condicionado

Nº do comando	Ação no dispositivo
1	Iniciar interação com o ar condicionado
2	Finalizar interação com o ar condicionado
3	Avançar na função selecionada
4	Retroceder na função selecionada do ar condicionado
5	Alterar função do ar condicionado

O comando de número 5 tem por objetivo permitir ao indivíduo navegar pelas funções do ar condicionado, tendo cinco funções disponíveis: temperatura, tipo da temperatura (frio ou quente), oscilar, intensidade do vento e direção do vento.

Nestes cenários os indivíduos 1, 2 e 3 realizaram uma sequência de cinco tentativas de acionamento dos comandos de interação com o ambiente. A seguir são apresentados os resultados dos testes realizados.

### Cenário 1 – Janela

No cenário 1, foram totalizados os seguintes resultados: 14 acertos e 6 falhas para o indivíduo 1; 15 acertos e 5 falhas para o indivíduo 2; e 16 acertos e 4 falhas para o indivíduo 3. Esse percentual de acertos é apresentado no gráfico da Figura 3.

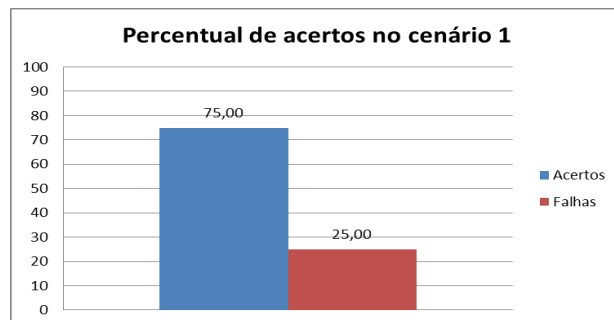


Fig. 3. Resultados dos testes realizados no cenário 1.

Neste cenário, o percentual de acertos foi de 75%, enquanto as falhas ocorrem em 25% dos casos considerados.

### Cenário 2: TV

No cenário 2, foram totalizados os seguintes resultados: 20 acertos e 5 falhas para o indivíduo 1; 22 acertos e 3 falhas para o indivíduo 2; e 17 acertos e 8 falhas para o indivíduo 3. Esse percentual é visualizado na Figura 4.

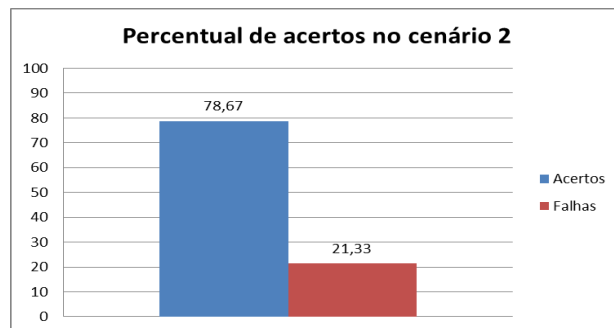


Fig. 4. Resultados dos testes realizados no cenário 2.

No cenário 2 os resultados apontaram 78,67% de acertos e 21,33% de falhas.

### Cenário 3. Ar Condicionado

No cenário 3, foram totalizados os seguintes resultados: 22 acertos e 3 falhas para o indivíduo 1; 18 acertos e 7 falhas para o indivíduo 2; e 21 acertos e 4 falhas para o indivíduo 3. O percentual dos testes é visualizado na Figura 5.

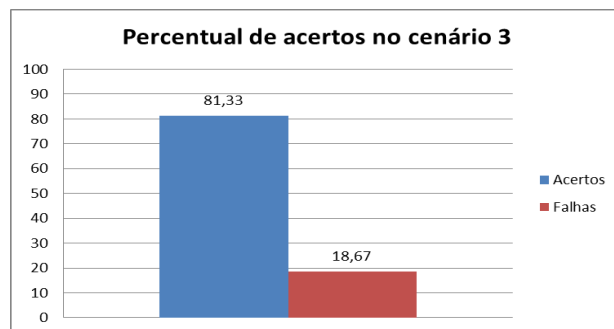


Fig. 5. Resultados dos testes realizados no cenário 3.

No cenário 3 houve um percentual de acertos de 81,33% e de 18,67% de falhas.

Os resultados obtidos a partir dos testes permitiram validar o modelo proposto, bem como o funcionamento das interações mapeadas. Porém, o tempo de execução de uma ação em um dispositivo é bastante significativo e variável. Isso está relacionado com o tempo em que cada indivíduo leva para atingir determinados estados mentais como, por exemplo, a concentração. De qualquer forma os percentuais de acertos obtidos nos testes realizados em cada cenário, totalizam uma média de 78,33 %, o que demonstram a aplicabilidade do uso de EEG como tecnologia assistiva de controle de ambiente.

## VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou um modelo de controle para análise de ondas eletroencefalográficas aplicado a tecnologias assistivas de controle de ambientes. O estudo realizado e o modelo desenvolvido propiciaram a abstração de diversos conhecimentos, possibilitando assim que trabalhos relacionados possam ser desenvolvidos utilizando este como base em diversos aspectos.

O desenvolvimento do modelo conceitual constitui-se na principal contribuição computacional provida por este trabalho. A partir dele três cenários de testes foram gerados com o intuito de verificar e validar sua aplicabilidade. O modelo serviu como base durante a implementação do algoritmo de controle embarcado, seu conceito de divisão em camadas orientou a um desenvolvimento incremental do algoritmo, onde cada camada foi transformada em uma função, que por sua vez gera como saída uma entrada para a função seguinte. O modelo também norteou o processo de análise dos estados mentais detectáveis a partir da EEG e sua normalização, para permitir que o indivíduo com limitação possa interagir com os dispositivos existentes ao seu redor.

As contribuições proporcionadas por este trabalho não instigam apenas mudanças e ganhos tecnológicos, mas contribui ativamente na evolução social, pois torna possível ao indivíduo com limitação a realização de atividades que antes eram improváveis. Assim, existem contribuições relevantes na área de comunicação entre homem e máquina, introduzindo uma forma de controle de ambientes através da EEG, além de contribuir beneficentemente no que diz respeito aos aspectos de independência, inclusão e comunicação proporcionados ao indivíduo com limitação, e, também, no desenvolvimento de Tecnologias Assistivas para deficientes.

No que tange a área de IHC, a concentração, velocidade, conforto, ambiente, dificuldade de uso, e privacidade são preocupações constantes. O fato da grande maioria dos trabalhos de ICCs não invasivas necessitarem de estímulos visuais exacerba a necessidade da atuação da comunidade de IHC nas pesquisas de ICCs.

Muitos dos trabalhos de ICCs – até mesmo, alguns dos citados no presente trabalho – foram publicados em renomados veículos de divulgação científica da área de IHC, tais como, no periódico Human-Computer Interaction [3][4], e nas conferências INTERACT [8] e ACM CHI [14][16]. Este fato demonstra a preocupação internacional em estudar a interação em ICCs. No Brasil, raros são os estudos na área, e

aqueles que existem não se atentam ainda para os fatores humanos envolvidos com essa tecnologia; as pesquisas nessa área no Brasil exploram apenas os aspectos tecnológicos. Esses desafios precisam ser tratados para permitir que as ICCs possam ser empregadas de forma mais efetiva em sistemas interativos. Acredita-se que, em um futuro próximo, devido aos avanços dos *headsets* EEG, as ICCs serão tão comuns quanto são hoje, outras formas de interface/interação.

## REFERÊNCIAS

- [1] Bird, C., & Zimmermann, T. (2012). Assessing the value of branches with what-if analysis. In *Proceedings of the ACM SIGSOFT 20th International Symposium on the Foundations of Software Engineering* (p. 45). ACM.
- [2] Caloti, T. A., Ferreira, A., Andreão, R. V., Coelho, L. C. (2011) Reconhecimento de estados mentais no EEG para aplicação em tecnologias assistivas. Em: *Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*, SBAL.
- [3] Ferreira, A. L. S., de Miranda, L. C., & de Miranda, E. E. C. (2012). Interfaces cérebro-computador de sistemas interativos: estado da arte e desafios de IHC. In *Proceedings of the 11th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems* (pp. 239-248). Brazilian Computer Society.
- [4] Friedman, D., Leeb, R., Pfurtscheller, G. e Slater, M. Human-Computer Interaction Issues in Brain-Computer Interface and Virtual Reality. In *Human-Computer Interaction*, Taylor & Francis (2010), 25(1):67-94.
- [5] Guger, C., Allison, B., & Leuthardt, E. C. (2014). Recent Advances in Brain-Computer Interface Research—A Summary of the BCI Award 2012 and BCI Research Trends. In *Brain-Computer Interface Research* (pp. 105-109). Springer Berlin Heidelberg.
- [6] Guyton, Arthur C; Hall, John E. (2006) “Tratado de Fisiologia Médica”, v.11, n. 59, p. 739-747.
- [7] Haber, Á., & Bezerra, J. (2014). Dispositivos de Tecnologia Assistiva Aplicada à Mão Robótica Neurocontrolada. *Engenharia de Computação em Revista*, 1(1).
- [8] Hakvoort, G.; Gürkök, H.; Bos, D.P.; Obbink, M. Measuring Immersion and Affect in a Brain-Computer Interface Game. In: *INTERACT'11*, Springer (2011), 115-128.
- [9] Heidrich, R. A. (2013) Utilização de BCI por pessoas com paralisia cerebral no contexto escolar aplicado a games, *Jornal Feevale*, Ed 81.
- [10] Lage, A. C. (2013) Análise de novos dados linguísticos: A eletroencefalografia em neurociência da linguagem. *Revista FSA (Faculdade Santo Agostinho)*, 10(1), 153-172.
- [11] Pinegger, A., Deckert, L., Halder, S., Barry, N., Faller, J., Kathner, I., & Muller-Putz, G. R. (2014, August). Write, read and answer emails with a dry 'n'wireless brain-computer interface system. In *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2014 36th Annual International Conference of the IEEE* (pp. 1286-1289). IEEE.
- [12] Rupp, R., Kleih, S. C., Leeb, R., Millan, J. D. R., Kübler, A., & Müller-Putz, G. R. (2014). Brain-Computer Interfaces and Assistive Technology. In *Brain-Computer-Interfaces in their ethical, social and cultural contexts* (pp. 7-38). Springer Netherlands.
- [13] Schuh, Á. R., Lima, A., Heidrich, R. D. O., Mossmann, J., Flores, C., & Bez, M. R. (2013). Desenvolvimento de Um Simulador Controlado por Interface Cérebro-Computador Não Invasiva para Treinamento na Utilização de Cadeira de Rodas. *RENOTE*, 11(3).
- [14] Solovey, E.; Girouard, A.; E., Schermerhorn, P., Scheutz, M., Sassaroli, A., Fantini, S. e Jacob, R. Brainput: Enhancing Interactive Systems with Streaming fNIRS Brain Input. In *Proc. CHI'12*, ACM (2012), 2193-2202.
- [15] Tomhave, B. L. (2005). Alphabet soup: Making sense of models, frameworks, and methodologies. *George Washington University*.
- [16] Vi, C. e Subramanian, S. Detecting Error-Related Negativity for Interaction Design. In *Proc. CHI'12*, ACM (2012), 493-502.
- [17] Teplan, M. (2002). Fundamentals of EEG measurement. *Measurement science review*, 2(2), 1-11.