



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ - UFPI
CAMPUS DE PARNAÍBA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOMÉDICAS**

LUAN CORREIA COSTA

**OTIMIZAÇÃO DA CONVERGÊNCIA PROXIMAL BINOCULAR E OSCILAÇÕES
NA ASSIMETRIA E COERÊNCIA DO ELETROENCEFALOGRAMA**

**PARNAÍBA – PI
2019**

LUAN CORREIA COSTA

**OTIMIZAÇÃO DA CONVERGÊNCIA PROXIMAL BINOCULAR E OSCILAÇÕES
NA ASSIMETRIA E COERÊNCIA DO ELETROENCEFALOGRAMA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biomédicas da Universidade Federal do Piauí, *Campus* de Parnaíba, como requisito final para a obtenção do título de Mestre em Ciências Biomédicas.

Área de concentração: Desempenho Humano - diagnóstico e funcionalidade.

Orientador: Prof^o Dr. Victor Hugo do Vale Bastos

Co-orientador: Prof^o Dr. Silmar Silva Teixeira.

Colaborador: Prof^o Msc. Nélio Silva de Souza

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial Prof. Cândido Athayde – Campus Parnaíba
Serviço de Processamento Técnico

C837o Costa, Luan Correia

Otimização da convergência proximal binocular e oscilações na assimetria e coerência do eletroencefalograma [manuscrito] / Luan Correia Costa. – 2019.

69 f. : il. color.

Impresso por computador (printout).

Dissertação (Mestrado em Ciências Biomédicas) – Universidade Federal do Piauí, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Victor Hugo do Vale Bastos

1. Insuficiência de Convergência. 2. Eletroencefalograma. 3. Assimetria. 4. Coerência. 5. Convergência Binocular. I. Título.

CDD: 612.82

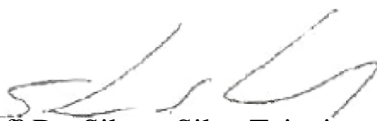
LUAN CORREIA COSTA

**OTIMIZAÇÃO DA CONVERGÊNCIA PROXIMAL BINOCULAR E OSCILAÇÕES
NA ASSIMETRIA E COERÊNCIA DO ELETROENCEFALOGRAMA**

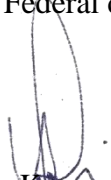
Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biomédicas da Universidade Federal do Piauí, *Campus* de Parnaíba, como requisito final para a obtenção do título de Mestre em Ciências Biomédicas.

APROVADO EM: 27/02/2019

BANCA EXAMINADORA:



Prof^o Dr. Silmar Silva Teixeira
Universidade Federal do Piauí – UFPI



Prof^ª Dra. Viviam Kátia André Vianna Secin
Centro Universitário Celso Lisboa – RJ



Prof^o Dr. Ariel Soares Teles
Instituto Federal do Maranhão – IFMA



Prof^o Dr. Victor Hugo do Vale Bastos
Universidade Federal do Piauí – UFPI
(Orientador)

PARNAÍBA – PI
2019

Aos meus pais Manuel e Rosineide, à
minha esposa Rosiele, à minha
pequena Laura e em memória à minha
querida avó Francisca Correia.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me confiar essa missão, e força para vencê-la. Pela certeza de que sempre esteve e estará ao meu lado, me conduzindo e abençoando.

A minha amada esposa e companheira Rosiele por sempre estar ao meu lado, pela compreensão, incentivo e cumplicidade.

A minha pequena Laura, que nesses últimos meses, tem sido meu principal estímulo.

Aos meus pais Manuel e Rosineide pelo amor, confiança e incentivo de sempre. Por me apoiarem em todas as minhas decisões. Pelos conselhos e ensinamentos. Amo vocês.

Aos meus queridos irmãos Neydiane, Lucas e Lennon pelo amor e companheirismo.

A minha amiga Alzira por entrar junto comigo nessa caminhada.

A amiga Lysnara Lyal por me despertar o anseio pelo mestrado. Mesmo estando distante, sempre me estimulou e deu força. Obrigado por tudo de coração.

A todos meus familiares e amigos pelo carinho e energia positiva.

Ao colega Nélio de Souza pelas ideias e estímulo.

Ao meu orientador Prof^o Dr. Victor Hugo e coorientadores Prof^o Dr. Silmar e Prof^a Dra. Viviam Kazue pelos ensinamentos e palavras de incentivo.

“O coração do homem traça seu caminho, mas o Senhor lhe dirige os passos”.

Provérbios 16.9

RESUMO

A insuficiência de convergência (IC) é a limitação em manter a convergência adequada em direção a um alvo próximo. Pode influenciar negativamente a qualidade de vida, além de interferir no processo de aprendizagem. Estudos que analisem a atividade cortical de indivíduos com a referida condição são pouco conhecidos na literatura. Nessa perspectiva, investigou-se as repercussões eletroencefalográficas na atividade cortical de jovens universitários com IC mediante estimulação da convergência proximal (ECP) binocular com auxílio de uma régua centimétrica. Trata-se de um estudo transversal controlado com 20 participantes com IC, destros e com idade entre 18 a 24 anos. O ponto próximo de convergência (PPC) foi analisado antes e após o término do experimento com ECP. Além disso, se analisou a assimetria e coerência das bandas alfa e beta do eletroencefalograma nos pares de eletrodos Fp1/Fp2, F3/F4, F7/F8, C3/C4, T3/T4, P3/P4, T5/T6 e O1/O2. Os resultados revelaram diminuição de 6,36 cm no valor do PPC ($p=0,001$), e para a assimetria das bandas alfa e beta foi observada predominância hemisférica à esquerda. A coerência da banda alfa revelou que houve diminuição do acoplamento cortical no início do experimento e ao final o acoplamento aumentou ($p<0,05$). Para banda beta houve menor acoplamento em T5/T6 ($p<0,025$). O estudo apontou que a ECP binocular é uma estratégia eficaz no tratamento da IC e que o movimento de convergência binocular gerou predomínio do hemisfério cerebral esquerdo, além de modificações no acoplamento cortical, especialmente, em áreas frontais e occipitais do córtex.

Palavras-Chave: Insuficiência de convergência, eletroencefalograma, assimetria, coerência, convergência binocular.

ABSTRACT

Convergence insufficiency (CI) is the limitation to keep the convergence appropriate in the direction to a target near. It can negatively influence the quality of life, besides interfere, for example, in the learning process. Studies that analyze the cortical activity of individuals with this condition are few known in the literature. In this context, investigated the electroneurophysiological effects in young university students with CI through stimulation of proximal convergence (SPC) binocular with the support of a centimeter ruler. A cross-sectional controlled study was realized out with 20 participants with CI, right-handed and aged between 18 and 24 years. The near point of convergence (NPC) was analyzed before and after the end of the experiment. Furthermore, it was analyzed the asymmetry and coherence of the electroencephalogram alpha and beta bands in the electrode pairs Fp1/Fp2, F3/F4, F7/F8, C3/C4, T3/T4, P3/P4, T5/T6, and O1/O2. The results revealed a decrease of 6.36 cm in the NPC value ($p= 0.001$), and for the asymmetry of the alpha and beta bands predominance in the left hemispheric was observed. The coherence of the alpha band revealed that there was a decrease of the cortical coupling at the beginning of the experiment and at the end, the coupling increased ($p < 0.05$). For the beta band, there was lower T5 / T6 coupling ($p < 0.025$). The study signals that the binocular SPC is an effective strategy in the treatment of CI and that binocular convergence movement generated predominance of the left cerebral hemisphere, besides changes in cortical coupling, especially in frontal and occipital areas of the cortex.

Keywords: Convergence insufficiency, electroencephalogram, asymmetry, coherence, binocular convergence.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1- Movimentos Vergenciais..... | 23 |
| Figura 2- Representação da Régua de Convergência e Acomodação, e Régua de RAF.... | 26 |
| Figura 3- Representação anatômica do córtex visual..... | 28 |
| Figura 4- Representação esquemática do Sistema Internacional 10-20..... | 31 |
| Figura 5- Procedimento experimental..... | 38 |
| Figura 6- PPC dos participantes antes e depois da ECP..... | 41 |
| Figura 7- Assimetria da banda alfa após ECP..... | 42 |
| Figura 8- Assimetria da banda beta após ECP..... | 43 |
| Figura 9- Assimetria da banda beta em O1/O2 após ECP..... | 43 |
| Figura 10 - Coerência das bandas alfa (a) e beta (b) após ECP..... | 45 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1- Variações na assimetria da banda alfa durante os momentos de ECP..... | 42 |
| Tabela 2- Variações na assimetria da banda beta durante os momentos de ECP..... | 44 |
| Tabela 3- Variações na coerência da banda beta durante os momentos de ECP..... | 45 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AV – Acuidade Visual

C - Central

cm - Centímetros

CISS - *Convergence Insufficiency Symptom Survey*

CITT - *Convergence Insufficiency Treatment Trial Investigator Group*

CPP – Córtex Parietal Posterior

CVP - Córtex Visual Primário

CVS - Córtex Visual Secundário

ECP – Estimulação da Convergência Proximal

EEG - Eletroencefalografia / Eletroencefalograma

EEGq - Eletroencefalograma Quantitativo

F - Frontal

Fp - Pré-frontal

Hz - *Hertz*

IC - Insuficiência de Convergência

LAMCEF - Laboratório de Mapeamento Cerebral e Funcionalidade

LB - Linha de base

LED - Diodos Emissores de Luz

μV - *Microvolts*

mV - *Milivolt*

OI - Oblíquo Inferior

OS - Oblíquo Superior

P - Parietal

PPC - Ponto Próximo de Convergência

O - Occipital

PE - Potenciais Evocados

RI - Reto Inferior

RL - Reto Lateral

RM - Reto Medial

RS - Reto Superior

T - Temporal

TCLE - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

SN - Sistema Nervoso

SNC - Sistema Nervoso Central

SI - Sistema Internacional

vp - Versão Português

z - Escore

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

| | |
|---------------------------|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1 Justificativa | 17 |
| 1.2 Objetivos | 17 |
| 1.2.1 Geral | 17 |
| 1.2.2 Específicos..... | 18 |

CAPÍTULO II

| | |
|---|-----------|
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 19 |
| 2.1 Sistema Visual Humano | 19 |
| 2.1.1 Movimentos Oculares..... | 21 |
| 2.2 Neuroanatomia do córtex cerebral: uma ênfase no córtex occipital..... | 26 |
| 2.3 Eletroencefalografia..... | 29 |

CAPÍTULO III

| | |
|--|-----------|
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS | 34 |
| 3.1 Tipo de Estudo..... | 34 |
| 3.2 Amostra | 34 |
| 3.3 Critérios de Inclusão e Exclusão | 34 |
| 3.4 Materiais | 35 |
| 3.5 Procedimento Experimental | 36 |
| 3.6 Análise Estatística | 38 |

CAPÍTULO IV

| | |
|--|-----------|
| 4 RESULTADOS | 40 |
| 4.1 Avaliações Visuais | 40 |
| 4.1.1 Dominância Ocular..... | 40 |
| 4.1.2 Respostas ao CISS-vp..... | 40 |
| 4.1.3 PPC e a Estimulação Vergencial Proximal..... | 40 |
| 4.2 Aspectos Eletrofisiológicos | 41 |
| 4.2.1 Assimetria das Bandas Alfa e Beta | 41 |
| 4.2.2 Coerência das Bandas Alfa e Beta..... | 44 |

CAPÍTULO V

| | |
|---|-----------|
| 5 DISCUSSÃO | 47 |
| 5.1 Aspectos Visuais | 47 |
| 5.2 Assimetria das Bandas Alfa e Beta..... | 49 |
| 5.3 Coerência das Bandas Alfa e Beta..... | 52 |
| | |
| CONCLUSÃO..... | 54 |
| | |
| REFERÊNCIAS | 55 |
| APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido | 66 |
| APÊNDICE B – Representação da Régua Centimétrica com Adaptação para PPC..... | 67 |
| ANEXO I..... | 68 |
| ANEXO II..... | 69 |

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

A visão humana é resultante de inúmeros processos fisiológicos de diferentes níveis de complexidade (VERGEER *et al.*, 2018) que podem influenciar processos cognitivos, por exemplo, a atenção. Além disso, a visão é responsável pela maioria dos estímulos sensoriais que recebemos no decorrer da vida, estes por sua vez, sendo fundamentais para o processo de aprendizagem (RIBEIRO *et al.*, 2015). Desta forma, a capacidade de realizar movimentos e adaptações posicionais oculares para as diferentes demandas visuais diárias requer uma organização e coordenação precisas, com performances asseguradas pelas respostas óculo-motoras (ALONSO, BACOT e RODRÍGUEZ, 2010).

Constantemente movemos os olhos para explorar as características do ambiente visual que nos cerca. Os movimentos oculares são, frequentemente, os mais acionados no corpo humano e, para que ocorram de forma satisfatória, múltiplos processos neurais são ativados (KOVALENKO e BUSCH, 2015). Assim, para observar as características de determinado lugar ou objetos em diferentes profundidades espaciais, os olhos realizam diferentes movimentos, dentre os quais a convergência, que corresponde à capacidade de rotação interna dos olhos (ALKAN, BISWAL e ALVAREZ, 2011).

A insuficiência de convergência (IC) caracteriza-se pela limitação em manter a convergência adequada em direção a um alvo próximo (NEHAD, SALEM e ELMOHAMADY, 2018; POLTAVSKI, LEDERER e COX, 2017; GRANET *et al.*, 2005). Em virtude do perfil de grupos populacionais estudados e das metodologias utilizadas, a prevalência de IC varia consideravelmente (HASSAN *et al.*, 2018). Outro fator que influencia tal variação é a falta de consenso quanto aos critérios diagnósticos para IC (MA *et al.*, 2018). A exemplo disso, o estudo conduzido por Jang *et al.* (2017) com 235 estudantes de 8 a 13 anos de idade, na cidade de Mokpo (Coréia do Sul), observou que 13,61% dos estudantes apresentavam IC. Por outro lado, Secin (2016) em estudo descritivo e comparativo entre 99 indivíduos indígenas de cultura predominantemente oral e 59 estudantes universitários do estado do Rio de Janeiro (Brasil) revelou prevalência de 54,5% para o grupo indígena e 9,8% para o grupo de universitários.

Há evidências que a IC pode influenciar negativamente na qualidade de vida, pois pode interferir no desempenho visual, escolar/acadêmico, no trabalho e até mesmo no lazer (HASSAN *et al.*, 2018). Os indivíduos com IC comumente podem apresentar sintomas como:

cefaleia, diplopia, visão turva, fadiga ocular (DUPREY *et al.*, 2017), sensação de queimação, dificuldade de concentração e compreensão, sobretudo, durante curtos períodos de leitura ou após atividades que exigem visão próxima (ALVAREZ *et al.*, 2014). Cabe ressaltar que a própria condição e fatores como cansaço, ansiedade e estresse são responsáveis pelo agravamento de tais sintomas (MCGREGOR, 2014).

Em virtude da relação entre IC e estudantes universitários, Harrer *et al.* (2018) enfatizam que tal população está entre as mais prevalentes no que se refere ao desenvolvimento de ansiedade e estresse. Ressalta-se ainda que durante o processo de transição do ensino médio para a universidade, há uma tendência para o aumento de tempo em atividades de leitura e que este pode ter implicações substanciais para o desenvolvimento de disfunções na visão binocular (OVENSERI-OGBOMO e EGUEGU, 2016). Por outro lado, na infância, a IC pode impactar logo à entrada na escola, reduzindo o nível de aproveitamento dos alunos, seja no processo de letramento ou de aprendizagem da leitura (NUNES *et al.*, 2019).

Considerando a relação existente entre os olhos e o sistema nervoso (SN) para a formação e processamento da visão (VON NOORDEN e CAMPOS, 2002), uma ferramenta útil na compreensão do processamento visual é o eletroencefalograma (EEG) que comumente é utilizado para investigar a atividade elétrica cerebral (PAULUCIO *et al.*, 2018; BAKHSHAYESH *et al.*, 2019). Na pesquisa clínica, o EEG é usado, por exemplo, para determinar a morte cerebral de pacientes hospitalizados, tumores cerebrais, atividade epiléptica e distúrbios do sono (ZEBENDE, OLIVEIRA FILHO e CRUZ, 2017). Em outras linhas de pesquisas, é útil na investigação de funções sensoriais, motoras, além de cognitivas como: a memória, atenção, imaginação e aprendizagem (BERES, 2017).

Ressalta-se que até o momento, estudos que analisem a atividade cortical de indivíduos com IC são pouco conhecidos na literatura. Sabe-se que as primeiras investigações envolvendo EEG e movimentos oculares tiveram início na década de 1950 (NIKOLAEV, MEGHANATHAN e VAN LEEUWEN, 2016). No entanto, a pesquisa desde então tem sido focada, sobretudo, nas consequências imediatas de tais movimentos no sinal do EEG. Kapoula *et al.* (2002) investigaram a ativação cortical antes de movimentos vergenciais e sacadas, mediante análise de potenciais evocados (PE). Os participantes do estudo realizaram tais movimentos orientados visualmente por alvos de diodos emissores de luz (LED). Neste, os autores observaram que a ativação da vergência foi maior que a ativação precedendo as sacadas oculares, sobretudo, nas áreas frontais do córtex cerebral e que o córtex parietal também influencia a execução dos movimentos vergenciais.

Estudo semelhante foi conduzido por Wojtczak-Kwaśniewska, Przekoracka-Krawczyk e Van der Lubbe (2018), cujo objetivo foi examinar, através da análise de PE, os papéis respectivos de áreas corticais que precediam movimentos sacádicos, convergências e divergências combinadas. Os estímulos para tais movimentos foram emitidos por um dispositivo de LED ao nível dos olhos nas seguintes distâncias dos participantes: 20 centímetros (cm) e 1 metro (m). Os resultados revelaram que os campos oculares frontais, porção anterior do córtex frontal e o córtex occipital podem responder por mais de 90% dos PE observados. Assim, os resultados sugeriram que as áreas corticais identificadas parecem mais envolvidas com aspectos sensoriais relacionados à execução dos movimentos oculares e áreas subcorticais são responsáveis pelos aspectos motores da execução propriamente dita.

1.1 Justificativa

Em virtude da IC ser comum entre crianças, adolescentes e estudantes universitários (LEIGH e ZEE, 2015), e relacionar-se a problemas de atenção visual, contribuindo negativamente no desempenho ou processamento de informação visual durante o processo de aprendizagem (CUNHA *et al.*, 2013; MOMENI-MOGHADDAM *et al.*, 2015), acredita-se que o EEG é útil na investigação científica de indivíduos com a referida condição ocular. Considerando a escassez de estudos sobre tal investigação, o presente estudo apresenta uma proposta inovadora e desafiadora que transcende a educação, pois traz informações pertinentes para uma melhor compreensão e manejo da IC, além do processamento cerebral para o movimento de convergência binocular, seja para a comunidade ortóptica, como científica em geral.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

Investigar as repercussões eletroneurofisiológicas na atividade cortical de jovens universitários com insuficiência de convergência mediante estimulação da convergência proximal binocular.

1.2.2 Específicos

- Examinar se a estimulação promove melhora no controle da convergência proximal binocular;
- Identificar a predominância hemisférica envolvida na estimulação proposta;
- Aplicar o *Convergence Insufficiency Symptom Survey* - versão português, a fim de avaliar os sintomas visuais dos participantes;
- Analisar as modificações corticais por meio da assimetria e coerência das bandas de frequência alfa e beta;
- Determinar quais os efeitos da estimulação da convergência proximal binocular continuada e intervalada na atividade cortical dos participantes.

CAPÍTULO II

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sistema Visual Humano

As capacidades de ver e interpretar são dependentes da função cerebral de receber, selecionar, armazenar e associar imagens (MAZZARINO, FALKENBACH e RISSI, 2011). O sistema visual humano é considerado complexo e um dos mais importantes dos sistemas sensoriais (KRONBAUER, SCHOR e CARVALHO, 2008), uma vez que seu funcionamento envolve diversas estruturas e mecanismos necessários para a aquisição de informações ambientais, obtidas através da refração da luz proveniente das superfícies, objetos e animais (KLEINER, SCHLITTLER e SÁNCHEZ-ARIAS, 2011). Dentre as estruturas envolvidas no sistema visual, os olhos atuam como uma máquina fotográfica, capturando as informações visuais (MARQUES JUNIOR, 2008). Anatomicamente apresentam forma aproximadamente esférica, tendo suas dimensões geométricas variáveis de pessoa para pessoa e em sua maior parte tem coloração opaca (HELENE e HELENE, 2011).

Graziano e Leone (2005) declaram que para o desenvolvimento normal da visão, são necessárias boas condições anatômicas e fisiológicas inatas, e psicossociais pós-natais. O olho humano corresponde ao principal órgão sensorial da visão, responsável por coletar os estímulos luminosos, focalizá-los e codificar os primeiros sinais neurais da via visual (PRASAD e GALETTA, 2011). Além disso, é dependente de diversos componentes que atuam de forma específica para que o ato de enxergar ocorra de forma satisfatória (GRAZIANO e LEONE, 2005).

De modo geral, o olho é formado pelas seguintes estruturas: a córnea que participa da proteção ocular e formação da visão, além de ser responsável por maior parte do poder refrativo do olho (EGHRARI, RIAZUDDIN e GOTTSCH, 2015); íris, relacionada à coloração e controle sobre o movimento pupilar, atuando como um diafragma para entrada de luz; a pupila, componente regulador da entrada de luz; o cristalino que atua também como uma lente e participa dos sistemas de refração e acomodação visual; a retina que desempenha o papel de transformação da luz em impulsos elétricos através de fotorreceptores; a esclera (“branco dos olhos”) e o corpo vítreo envolvidos na sustentação e morfologia ocular; e o nervo óptico que assume o papel de transporte dos impulsos elétricos para o centro de processamento do cérebro (BICAS, 1997; HELENE e HELENE, 2011). À medida que o

indivíduo envelhece todos esses componentes oculares sofrem alterações anátomo-fisiológicas consideráveis que interferem no funcionamento adequado do olho (GROSSNIKLAUS *et al.*, 2013).

Logo que a focalização de uma imagem acontece, esta deve estar sobre a retina, especialmente numa região densa, intitulada de fóvea, cujas células são sensíveis à luz. Tal sensibilidade se dá através das características específicas de organização e forma dos fotorreceptores, pois são fortemente agrupados e estreitos, permitindo a detecção da luz em feixes estreitos, essenciais para percepção das cores (QUEIROZ, QUEIROZ JUNIOR e QUEIROZ, 2010).

A fóvea localiza-se na direção frontal dos olhos (HELENE e HELENE, 2011), mais precisamente na porção central da mácula lútea (2 a 3 mm de diâmetro), esta por sua vez, representada por uma discreta depressão na retina (VENTURA e CASTRO NETO, 1995). Além disso, ocupa cerca de 1 mm de diâmetro da mácula lútea (PROVIS *et al.*, 2013) e a visão nessa região apresenta maior nitidez do que em qualquer outra região da retina (QUEIROZ, QUEIROZ JUNIOR e QUEIROZ, 2010). Desta forma, o alinhamento da fóvea com o estímulo visual ou objeto desejado é necessário e deve ser mantido por um período de tempo suficiente que possibilite ao sistema visual uma análise detalhada da imagem (GONÇALVES e SCHARLACH, 2016).

Um fenômeno óptico constitui-se, basicamente, de pelo menos três aspectos: o objeto que é observado, os olhos que veem tal objeto e o espaço entre estes. Desta forma, considera-se que um fenômeno óptico é tanto um fenômeno físico, pois existe uma relação entre o objeto/olho/ interposição do meio e da luz, quanto anatômico e fisiológico, pois o objeto visto é percebido de alguma forma pelo olho de acordo com seus mecanismos internos. Além disso, há o envolvimento de um componente psicológico, pois existe uma representação mental do objeto visto por quem o observa (TOSSATO, 2005).

Os seres humanos assim como os demais animais com olhos anteriores ao corpo possuem visão binocular, o que facilita a habilidade de perceber determinada imagem ou ação em três dimensões e profundidades específicas (KANDEL *et al.*, 2014). Por outro lado, estudo conduzido por Nityananda e Read (2017) propõe que além dos humanos, outras espécies de animais também possuem mecanismos de acesso a indícios ambientais favoráveis à percepção de profundidade, úteis à aquisição da vergência.

Os olhos por meio da visão detêm a capacidade de captar estímulos visuais em diferentes profundidades espaciais na retina, além de situar o indivíduo em determinado lugar no espaço (ALVAREZ *et al.*, 2014). Na retina, parte fotossensível dos olhos, estão contidos

os cones e bastonetes, células responsáveis respectivamente pela visão central e em cores, e visão periférica e adaptação a baixa luminosidade (MAZZARINO, FALKENBACH e RISSI, 2011). Quando ambas as células são estimuladas, os impulsos nervosos são transmitidos através de neurônios da retina, passando pelas fibras do nervo óptico até alcançarem o córtex occipital (LEIWE *et al.*, 2016) representando, portanto, a via retino-geniculo-cortical. Embora haja outras vias, a via retino-geniculo-cortical é a principal para a informação visual alcançar o córtex visual. Constitui-se de células ganglionares da retina, células do núcleo geniculado lateral dorsal e de neurônios do córtex visual primário (CRUZ-MARTÍN *et al.*, 2014).

2.1.1 Movimentos Oculares

A capacidade de promover movimentos e ajustes posicionais oculares para demandas visuais como: olhar a diferentes distâncias, para a direita ou esquerda, para cima ou baixo, com diferentes combinações e magnitudes para os deslocamentos dos olhos requer uma coordenação altamente elaborada e precisa, além de ser dependente das informações registradas na retina (BICAS, 2003). A movimentação ocular é proveniente da ação de seis músculos externos que cada olho possui: reto superior (RS), reto inferior (RI), oblíquo inferior (OI), oblíquo superior (OS), reto medial (RM) e reto lateral (RL), que recebem comandos de três pares de nervos cranianos (III ou nervo oculomotor, IV ou nervo troclear e VI ou abducente), cujos estímulos são dependentes das interações entre os comandos voluntários e de reações automáticas (ALONSO, BACOT e RODRÍGUEZ, 2010).

O nervo oculomotor é responsável por inervar o RM, RS, RI, OI, além do músculo levantador da pálpebra superior, ciliar e o do esfíncter da pupila (DAMASCENO e CORRÊA, 2008). O nervo troclear inerva exclusivamente o OS contralateralmente, e o nervo abducente aciona ipsilateralmente RL (LEIGH e ZEE, 2015). Normalmente os músculos extraoculares se distribuem pelos olhos em pares, nas direções: horizontal (RM e RL), vertical (RS e RI) e oblíquo (OS e OI), com posicionamentos quase que simétricos e ações equivalentes, geralmente opostas, pois quando um músculo é acionado para contração, o músculo oposto de cada par simultaneamente é estimulado a relaxar. Este mecanismo é representado pela lei de inervação recíproca de Sherrington (BICAS, 2003) um fenômeno neurofisiológico mediado pelo fuso neuromuscular, um componente sensorial responsável por coordenar a ação de músculos agonistas e antagonistas em dada atividade. Tal função ocorre através do monitoramento da velocidade e tempo de estiramento, além da detecção de alterações no comprimento do músculo durante os movimentos (BADARO, SILVA e BECHE, 2007).

Complementar a Lei de inervação recíproca de Sherrington, outra teoria apresenta uma explicação para inervação e, conseqüentemente a mobilidade ocular, a Lei de Hering (BICAS, 2003). Esta, afirma que os músculos extraoculares recebem inervação igual (WORLEY *et al.*, 2013). Nessa perspectiva, Westheimer (2014) descreve que tal lei foi postulada por Ewald Hering em seus estudos de 1868, observando que embora haja um controle neural e muscular simétrico para os olhos, estes se movem rotineiramente em paralelo em alinhamento constantemente ajustado.

Os movimentos oculares, elementos essenciais para a formação da visão, constituem um dos processos básicos para relação entre o homem e o meio ambiente (VALVERDE *et al.*, 2016). Desta forma, esses movimentos são coordenados de tal maneira que cada olho é direcionado ao mesmo ponto para determinada distância visual (VAN DER STEEN e DITS, 2012), fazendo com que por meio dos movimentos, informações visuais de potencial interesse sejam detectadas na fóvea (LIVERSEDGE, GILCHRIST e EVERLING, 2011). A literatura evidencia que através do movimento conjugado dos olhos, é que podemos fixar ou seguir determinado objeto, mesmo quando este se move rapidamente. Para isso, existem mecanismos voluntários natos que atuam quando procuramos o objeto a ser fixado pela visão e também mecanismos involuntários quando, por exemplo, automaticamente mantemos o foco sobre o objeto (VASCONCELOS-RAPOSO *et al.*, 2017).

Quando procuramos por uma pessoa ou um objeto material, estamos realizando uma busca visual, uma das ações mais comuns e realizadas no dia a dia. Em geral, se for proposto a um indivíduo que procure por um objeto ou estímulo alvo em meio a estímulos que gerem distração, acredita-se que quanto menor o tempo para encontrar o alvo desejado, mais eficiente é o processo de busca. Nesse contexto, a eficiência de tal ação é dependente tanto de características oriundas do alvo, quanto dos estímulos distratores. A busca, portanto, poderá ser eficiente se, por exemplo, houver diferença na cor, formato ou mesmo no tamanho entre o alvo e os estímulos de distração (MACEDO *et al.*, 2007a).

Marchesin, Caovilla e Ganança (2005) declaram que os movimentos oculares podem ser distinguidos, uma vez que cada um possui função, aspecto anatômico e organização fisiológica específica. Há cinco principais classes de movimentos oculares: movimentos persecutórios ou perseguição lenta, reflexos oculares, fixações oculares, movimentos de sacada e a vergência ocular (LIVERSEDGE, GILCHRIST e EVERLING, 2011).

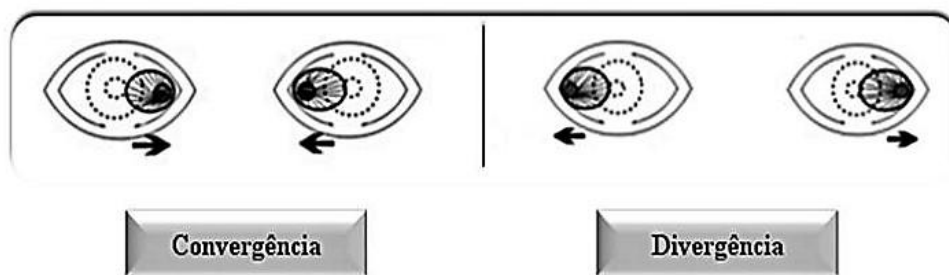
Os movimentos persecutórios são lentos e mudam constantemente. Possuem a finalidade de manter ou estabilizar a imagem de um alvo em movimento na fóvea (TUMA *et*

al., 2006). Nesse contexto, trata-se de movimentos complexos que, frequentemente, tanto ações dos olhos quanto da cabeça são necessários para sua devida execução (COSTA, 2007).

Os reflexos oculares, em sua maioria, possuem direta relação com o sistema vestibular. Por exemplo, durante a movimentação cefálica, existe uma integração deste sistema com os músculos extraoculares resultando, portanto, em movimentos compensatórios dos olhos. Geralmente ocorrem em sentido oposto ao movimento cefálico a fim de garantir uma imagem nítida e estável (SALES e COLAFÊMINA, 2014; GONÇALVES e SCHARLACH, 2016).

As fixações correspondem a períodos de tempo, geralmente curtos, em que o olho permanece analisando determinada área de um estímulo desejado (MACEDO *et al.*, 2007b). Os movimentos sacádicos coletam informações sobre o meio ambiente e exploram a cena visual. Esses movimentos exploratórios dos olhos caracterizam-se por serem muito rápidos, de um ponto para outro, podendo ser voluntário ou involuntário (GREMLER e LAPPE, 2017; MORIZE *et al.*, 2017). Vinuela-Navarro *et al.* (2017) apontam que tanto as fixações quanto as sacadas oculares são componentes fundamentais, por exemplo, durante a leitura, pois fornecem o primeiro passo na extração de informações visuais do texto estudado.

A vergência ocular se refere a todos os movimentos disjuntivos dos olhos (VON NOORDEN e CAMPOS, 2002), cuja principal habilidade é alterar o ângulo entre os eixos visuais, a fim de manter uma visão única e com a percepção de profundidade adequada tanto diante de estímulos próximos quanto distantes. Comumente divide-se em dois movimentos: convergência e divergência ocular (COSTA, 2007) como ilustra a figura 1. A convergência produz o aumento no ângulo formado pelos eixos visuais, sendo realizado pelo movimento sincrônico de adução dos olhos (VON NOORDEN e CAMPOS, 2002), enquanto que a divergência corresponde ao movimento contrário, os olhos se movimentam na direção temporal e normalmente ocorre, apenas, de forma unilateral (COSTA, 2007).



Fonte: Própria

Figura 1 - Movimentos Vergenciais.

Ao mudar o ponto de fixação de um objeto em distâncias diferentes e simultâneas, os olhos devem convergir ou divergir para realinhar as imagens em cada fóvea (BABINSKY, SREENIVASAN e CANDY, 2016). Esse contexto direciona para a chamada correspondência retiniana normal que compreende a base de acionamento dos movimentos binoculares de ajuste de posição, na qual elementos das duas retinas dão origem à localização de objetos vistos na mesma direção visual subjetiva, portanto a essência da visão binocular. Em contrapartida, quando as imagens de um único objeto não recaem sobre os elementos retiniais correspondentes, a disparidade retiniana ocorre resultando de uma correspondência retiniana anômala vista, por exemplo, nos estrabismos (VON NOORDEN e CAMPOS, 2002; LEIGH e ZEE, 2015). Ressalta-se que a quantidade necessária dos movimentos de convergência ou divergência para realinhar uma nova distância muda com a idade, ou seja, de acordo com o desenvolvimento humano. Isso se deve ao aumento da distância entre os olhos que ocorre ao longo dos primeiros anos de vida. Esse crescimento acompanha o crescimento da cabeça e a distância interpupilar atinge o valor máximo aproximadamente entre 15 e 16 anos de idade (BABINSKY, SREENIVASAN e CANDY, 2016).

Von Noorden e Campos (2002) descrevem que a convergência pode ser dividida em: tônica, acomodativa, fusional, proximal e voluntária. A convergência tônica é provocada pelo tônus dos músculos extraoculares, pois mesmo em repouso, estes recebem estimulação inervacional. A acomodativa associa-se ao ajuste da posição dos olhos mediante estímulo visual proximal e a acomodação realizada. A fusional, por sua vez, permite o ajuste preciso dos eixos visuais necessários para a fixação binocular. A convergência proximal é acionada conscientemente pela aproximação de um objeto, de modo a manter a fixação bifoveal e a voluntária dependente da vontade do indivíduo para mover os olhos em adução. Embora os movimentos supracitados ajam de forma conjugada, a ênfase do presente trabalho será dada para a convergência proximal binocular (VON NOORDEN e CAMPOS, 2002).

O movimento de convergência binocular permite que os olhos direcionem os eixos visuais sobre o objeto fixado, permitindo que a imagem ganhe forma em ambas as fóveas. Além disso, resulta de múltiplos mecanismos conjugados e normalmente pode ser mantida até o objeto fixado próximo do nariz (JEANROT e JEANROT, 1996). Comumente, o ponto em que a convergência é interrompida entre o objeto fixado e o nariz atribui-se um valor numérico em cm, chamado de ponto próximo de convergência (PPC) (RIORDAN-EVA e AUGSBURGER, 2017), ou seja, a distância mais próxima em que os olhos conseguem manter a visão única sobre algo (MCGREGOR, 2014). Na avaliação é identificado pelo ponto em que o indivíduo relatar que o alvo duplicar ou quando o examinador observar que um olho

perdeu a fixação e girar externamente (SIDEROV, CHIU e WAUGH, 2001). Observa-se na literatura que não há consenso quanto ao valor de normalidade para o PPC, no entanto, no presente estudo foi considerado o valor prezado por Borsting *et al.* (2012), que é de 5 a 6 cm.

A convergência é uma função da visão binocular de caráter voluntário ou involuntário. A literatura aponta que são muitos os estímulos capazes de produzir tal movimento e que o ângulo de convergência, geralmente, corresponde à metade do ângulo formado pelos eixos visuais dos olhos quando em adução (GUTIÉRREZ, 2006). Cabe ressaltar, que tal ângulo também pode ser assimétrico quando o posicionamento do ponto de fixação encontrar-se à direita ou à esquerda do plano médio (VON NOORDEN e CAMPOS, 2002).

Ovenseri-Ogbomo e Eguegu (2016) argumentam que alterações ou disfunções na vergência ocular são comuns e geram inúmeros distúrbios motores do sistema visual. Dentre essas condições, a IC é uma das mais comuns tanto em crianças quanto adultos (GHADBAN *et al.*, 2016), de ordem benigna e que comumente gera problemas na execução efetiva de tarefas do dia a dia, por exemplo, na leitura ou em atividades que exijam visão de perto (OVENSERI-OGBOMO e EGUEGU, 2016). Além disso, caracteriza-se pela limitação em obter ou manter a convergência adequada em atividades específicas (ALONSO, BACOT e RODRÍGUEZ, 2015; MOLINA e MORA, 2010).

A IC apresenta etiologia multifatorial, dentre estes: influências gestacionais (síndrome do alcoolismo fetal e hipoplasia do nervo óptico) (PAOLOZZA *et al.*, 2013); traumatismo crânioencefálico (ALVAREZ *et al.*, 2012); alterações metabólicas; alterações sistêmicas em decorrência de intoxicação por drogas (BRICOT, 2010); transtornos de ansiedade (COOPER e JAMAL, 2011); fatores anatômicos, congênitos, ambliopia, (MOLINA e MORA, 2010); cultura visual (SECIN, 2016), dentre outros.

O diagnóstico da IC baseia-se na avaliação clínica do indivíduo, além da análise e quantificação do PPC (CAPÓ-APONTE *et al.*, 2018), este por sua vez, realizada através de ferramentas métricas como, por exemplo, a régua de convergência e acomodação (*Bernell Corporation*), comumente mais utilizada, e a régua de RAF (*Royal Air Force*) (ADLER *et al.*, 2007) ambas ilustradas na figura 2. Esta última foi desenvolvida, originalmente, no Reino Unido para avaliar aspectos relacionados à acuidade em tarefas de leitura, além de medições da convergência e acomodação visual. Originalmente, foi utilizada por médicos oftalmologistas e optometristas em pesquisas científicas e em testes oculares da Força Aérea Real e da Autoridade de Aviação Civil Britânica. Uma desvantagem, apontada pela literatura, é que a régua de RAF não permite o registro de um PPC <6cm em virtude do suporte localizado no início da régua, impedindo, portanto, uma medição precisa (ADLER, 2004).

Há uma indefinição quanto o valor de PPC indicativo de IC, Von Noorden e Campos (2002), por exemplo, consideraram o valor de 10cm; Hayes *et al.* (1998): 6 a 10cm em crianças; Secin (2016): bom <7cm, limítrofe 7 a 9cm e insuficiente >9cm; *Convergence Insufficiency Treatment Trial Investigator Group (CITT)* (2008): ≥ 6 cm; e Cunha *et al.* (2013): ≥ 10 cm. Para o presente trabalho o valor de referência utilizado foi o de Von Noorden e Campos (2002) e Cunha *et al.* (2013): PPC ≥ 10 cm.



Fonte: Adaptada de - <https://www.bernell.com/product/3146/427> / <https://www.good-lite.com/Details.cfm?ProdID=975>

Figura 2 – Representação da Régua de Convergência e Acomodação, e Régua de RAF.

2.2 Neuroanatomia do córtex cerebral: uma ênfase no córtex occipital

O SN coordena todas as funções corporais (FARLEY *et al.*, 2014), constituindo-se especialmente de neurônios, células nervosas altamente excitáveis, cujas funções básicas são: receber, processar e enviar informações por meio das sinapses de caráter químico ou elétrico (BERES, 2017). Dentre os componentes mais relevantes do SN, o córtex cerebral corresponde a uma camada superficial de aproximadamente 4 mm de substância cinzenta, de composição complexa e heterogênia com aproximadamente 86 bilhões neurônios (HERCULANO-HOUZEL, 2009) que recobre todo o centro branco medular do cérebro e desempenha papel fundamental no funcionamento cerebral (MACHADO e HAERTEL, 2013).

A distribuição do córtex ao longo do cérebro não é uniforme (FISCHL e DALE, 2000) e seu funcionamento básico é essencial, sobretudo, para promover a interação efetiva entre indivíduo e meio ambiente (MACHADO e HAERTEL, 2013), além de participar de funções complexas do cérebro como: memória, atenção, consciência, linguagem, emoção, percepção, motricidade, pensamento e controle dos sentidos como, por exemplo, da visão (WEBSTER, 2010).

O SN possui a capacidade biologicamente dinâmica de adaptar-se estruturalmente e funcionalmente em resposta a novas experiências ou lesões, um processo complexo, chamado de neuroplasticidade (LEDBETTER, MOORE e MITCHELL, 2017; VAN OMBERGEN *et al.*, 2017; ZILLI, LIMA e KOHLER, 2014). Tal processo ocorre por meio da modulação de recursos genéticos, moleculares e de mecanismos celulares que influenciam a dinâmica das conexões sinápticas e formação de circuitos neurais que culminam em ganho ou perda de atividade ou função (ISMAIL, FATEMI e JOHNSTON, 2017).

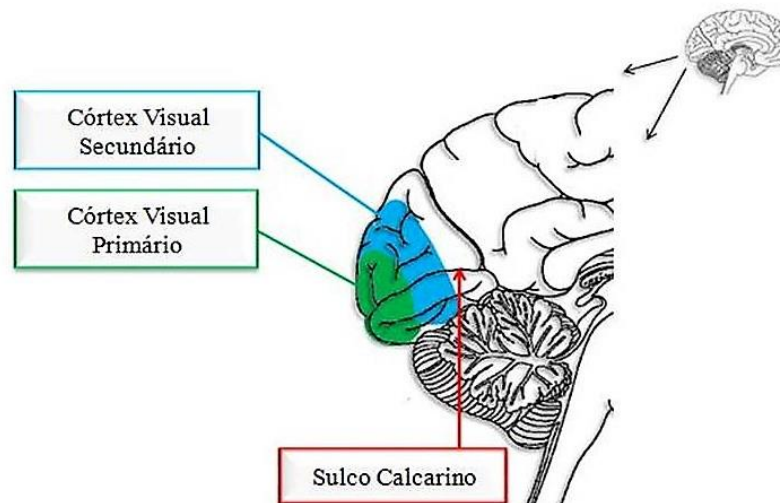
A camada externa do córtex cerebral é dividida em áreas especializadas principalmente na detecção e processamento de estímulos sensoriais dos olhos, ouvidos e dos receptores ligados ao toque e a nocicepção. Assim, as experiências diárias nos permitem lidar com uma diversidade de informações, uma vez que, as regiões sensoriais do córtex cooperam entre si a fim de integrar estímulos recebidos do meio externo. Considerando a divisão anatômica do córtex cerebral, a região do lobo occipital tem parcela significativa nesse processo sensorial (PIOVESAN *et al.*, 2002).

No final do século XX o estudo anátomo-funcional do córtex cerebral relacionado aos processos visuais já era apontado como um dos campos mais promissores da neurociência, principalmente pelos avanços obtidos ainda na década de 1980-90 (GIMÉNEZ-AMAYA, 2000). Embora o processamento de informações visuais no córtex cerebral seja algo complexo, sabe-se que o significativo número de áreas corticais envolvidas é distribuído principalmente nos lobos occipital, temporal e parietal. Salienta-se que para perceber visualmente o meio externo, além da interligação de inúmeras redes neurais entre áreas do lobo occipital com áreas dos lobos temporal e parietal, também é necessário o envolvimento com o córtex pré-frontal, pois este é fundamental na organização e planejamento de ações futuras do indivíduo (GIMÉNEZ-AMAYA, 2000) e na atenção visual (WATANABE, 2017).

O lobo occipital é responsável por parcela significativa na função sensorial e integrativa das vias visuais (FLORES, 2002). O córtex visual humano se compõe de muitas áreas visuais, cada uma destas sendo conhecida por conter um mapa visual específico, podendo se vincular a várias funções visuais, por exemplo, no reconhecimento de cores,

noções de espaço, tamanho e etc. No entanto, a organização geral do processamento de informação definida pela conexão entre esses mapas ainda não é bem compreendida (HAAK e BECKMANN, 2017).

Conforme a divisão funcional do córtex, as áreas ligadas diretamente à sensibilidade e à motricidade, ou seja, de projeção são consideradas áreas primárias, enquanto que as áreas de associação podem ser divididas em secundárias e terciárias (MACHADO e HAERTEL, 2013). Em relação ao córtex visual, este se divide em: córtex visual primário (CVP) e córtex visual secundário (CVS) ou de associação como ilustra a figura 3. O CVP localizado nos lábios do sulco calcarino, face medial do lobo occipital, é responsável pela percepção visual e considerado um divisor de sinais visuais no cérebro humano, encontrando-se numa relação dinâmica com as diferentes áreas visuais conforme as necessidades momentâneas, o que lhe permite enviar múltiplos sinais. Além disso, faz múltiplas conexões com áreas visuais circundantes especializadas, principalmente, no processamento de diferentes modalidades de sinais visuais, constituindo o córtex visual de associação (PEREIRA, REIS e MAGALHÃES, 2003).



Fonte: Própria

Figura 3 – Representação anatômica do córtex visual.

De acordo com o mapeamento cortical de Brodmann, no lobo occipital encontram-se a área 17 que corresponde ao CVP (MARQUES JUNIOR, 2008), situada nas partes superior e inferior do sulco calcarino e a área 18 correspondente ao CVS (DAMIANI, NASCIMENTO e PEREIRA, 2017). Próximo à área 18 encontra-se a área 19 que se estende pelas porções mais posteriores dos lobos parietal e temporal, com significativas funções associativas, sobretudo, com a área 18 nos movimentos e fixação dos olhos (SCHEPERJANS *et al.*, 2005).

O CVS recebe informações do CVP e as repassa a outras áreas do córtex, por exemplo, para região temporal (DAMIANI, NASCIMENTO e PEREIRA, 2017). No CVS a organização e repasse de informações se dá através de duas vias: ventral e dorsal. A divisão do processamento do córtex visual nessas duas vias distintas é de fundamental relevância para melhor compreensão da neurociência visual (KRAVITZ *et al.*, 2011; KASTNER e UNGERLEIDER, 2000). Nessa perspectiva, descobriu-se que a via ventral é indicada como responsável pela produção de representações acessíveis à consciência como o reconhecimento de cores, letras, símbolos, objetos familiares e não familiares. Por outro lado, a via dorsal interliga parte do CVP à porção inferior do córtex parietal, o que permite a localização visual de objetos e espacial de estímulos, além de relacionar-se com as ações automáticas, inconscientes e visualmente guiadas (ORTEGA-LEONARD *et al.*, 2015; GIMÉNEZ-AMAYA, 2000).

Apesar da visão apresentar um órgão de recepção da luz e transferência de sinais neurais bem delimitados, o processo de formação da visão não termina na percepção visual realizada pelo córtex occipital, pois tanto os córtices parietal e temporal quanto o frontal realizam a interação dessa percepção com outras informações para resultar numa melhor interpretação e compreensão das imagens observadas (BICAS, 1997).

2.3 Eletroencefalografia

A EEG constitui uma ferramenta de gravação e análise da atividade elétrica cortical (SAI *et al.*, 2017; LEI e LIAO, 2017; FESTANTE *et al.*, 2018), uma representação direta do SNC, particularmente do córtex cerebral (KOBAYASHI *et al.*, 2017). Embora o uso dessa ferramenta em animais tenha sido descrita desde 1875, pelo médico inglês Richard Caton, apenas em 1929 foi utilizado para mapear o cérebro de humanos, um trabalho iniciado pelo neuropsiquiatra alemão Hans Berger (BERES, 2017; SANEI e CHAMBERS, 2007).

Na prática clínica são usados dois tipos de EEG, um analógico ou convencional e o outro, quantitativo (EEGq) (KELMANN e BERNARDO, 2012). O EEG analógico baseia-se no exame visual do traçado impresso em papel, portanto, um componente de avaliação subjetiva (FONSECA *et al.*, 2003). O EEGq refere-se a técnica de gravação de sinais elétricos cerebrais a partir de programas específicos de computação que convertem ou transformam estes sinais em valores numéricos com as seguintes características: intensidade, amplitude e frequência (KANDA *et al.*, 2009). Os valores numéricos obtidos, por sua vez, podem ser convertidos através de determinados programas estatísticos computadorizados em escores (z),

o que permite, por exemplo, localizar e diagnosticar problemas ou distúrbios clínicos, além de auxiliar no mapeamento do córtex cerebral durante atividades cognitivas (CARROBLES, 2016). Thakor e Tong (2004) enfatizam que o desenvolvimento do EEGq foi motivado, sobretudo, pela necessidade de se obter medidas mais precisas e da realização de um procedimento mais automático e fácil.

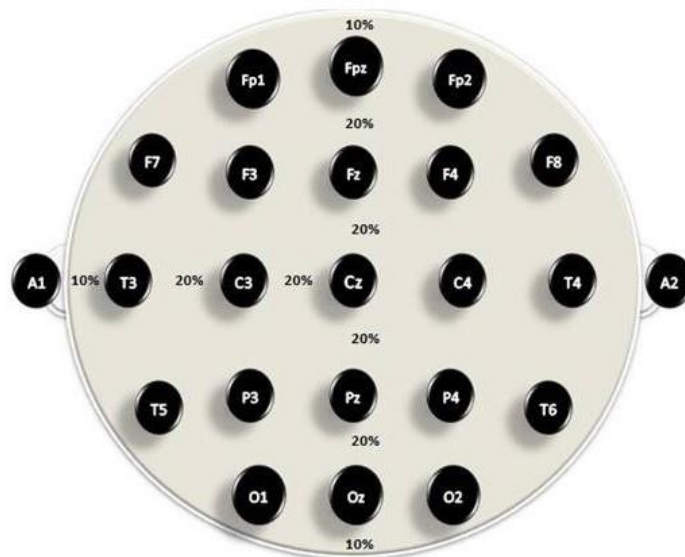
O registro do EEG corresponde à soma de potenciais extracelulares gerados por correntes provenientes de neurônios presentes no córtex cerebral (KOBAYASHI *et al.*, 2017; KLIMESCH, 1999). Atualmente, acredita-se que a origem desses potenciais seja oriunda da soma espaço-temporal tanto de neurônios excitatórios quanto inibitórios pós-sináptico, sobretudo, de neurônios excitatórios (BABILONI *et al.*, 2009; KOBAYASHI *et al.*, 2017). A atividade neuronal, de modo geral é representada por dois mecanismos importantes: potenciais de ação e potenciais pós-sinápticos. Os potenciais de ação são resultado da despolarização muito rápida de um neurônio, originada principalmente por alterações na permeabilidade da membrana aos íons sódio e potássio. Os potenciais pós-sinápticos correspondem ao envio de uma série de neurotransmissores que ocorrem como resultado da ativação sináptica. Tais potenciais ocorrem quando os neurotransmissores se ligam aos receptores na membrana da célula pós-sináptica, tornando os canais de íons abertos ou fechados. Nesse contexto, é sabido que o EEG registra apenas os potenciais pós-sinápticos, uma vez que, os potenciais de ação são muito rápidos e curtos (BERES, 2017).

Os aparelhos de EEG captam a atividade elétrica do córtex cerebral em vários locais no escalpo, representada em formas de ondas que variam em frequência, amplitude e corrente (DARONCH *et al.*, 2016). O registro da atividade trata-se de um procedimento relativamente fácil e não-invasivo (BORRIES *et al.*, 2013; YUVARAJ *et al.*, 2014) e que pode ser realizado por profissionais não-especialistas (HAN, 2013). As regiões corticais tipicamente mostradas durante a aplicação do EEG usando o Sistema Internacional (SI) 10-20 são: o lobo frontal responsável pelo pensamento consciente; a região central que se relaciona a função motora; lobo temporal que está ligado ao reconhecimento de odores, sons, cenas etc; o lobo parietal relacionado às funções sensório-motoras; e o lobo occipital à visão (LEE, LEE e JUNG, 2015).

O SI 10-20 estabelece a disposição dos eletrodos no escalpo do qual se fará o registro elétrico cortical (JASPER, 1958; LACKO *et al.*, 2017) (Figura 4), e cada eletrodo será nomeado por abreviação em conformidade com as áreas do cérebro, por exemplo, área pré-frontal (Fp), frontal (F), central (C), temporal (T), parietal (P) e occipital (O). Quando dada região estiver seguida da letra z significa a área medial da região: eletrodos Fz, Cz, Pz e Oz, e

quando forem seguidos de número referem-se aos hemisférios, no qual números ímpares representam o hemisfério esquerdo e números pares o hemisfério direito (F3, F4, C3, C4) (LUFT e ANDRADE, 2006). Após a colocação dos eletrodos se utiliza gel ou pasta condutora que além de fixá-los melhor, permite aquisição adequada dos sinais elétricos.

Durante a gravação do EEG, geralmente existe a presença de potenciais elétricos provenientes de outras fontes que não seja o cérebro. Esses potenciais são intitulados de artefatos ou ruídos e merecem atenção, pois podem alterar substancialmente o sinal eletroencefalográfico captado e conseqüentemente, os resultados da análise espectral. Cabe ressaltar, que é raro um traçado de EEG que não possua artefatos, sua redução pode, por exemplo, depender do repasse de instruções prévias do pesquisador ou observador ao paciente e da colaboração do paciente (ANGHINAH *et al.*, 2006). Os artefatos comumente mais observados são de origem biológica que incluem as atividades oculares, musculares e cardíacas, enquanto que os ruídos podem ser: iluminação externa, ondas de rádio, toque de telefone, atividade marca-passos cardíaco e mau posicionamento do eletrodo (THAKOR e TONG, 2004). Assim, é imprescindível que o observador conheça e saiba detectar artefatos e ruídos no traçado do EEG, a fim de evitar que aquele potencial encontrado na análise espectral não seja interpretado erroneamente como doença (SAI *et al.*, 2017).



Fonte: Própria

Figura 4 - Representação esquemática do Sistema Internacional 10-20.

A amplitude do sinal elétrico cerebral é cerca de 100 *Microvolts* (μV) se medida no escalpo e de 1 a 2 *milivolt* (mV) se medida diretamente na superfície cerebral (SCHMIDT,

2016), e a faixa de frequência que compõe o sinal varia de menos de 1 *Hertz* (Hz) até 50 Hz (NUNES, ALMEIDA e SLEIGH, 2004). Essas frequências expressas em Hz podem variar desde componentes muito lentos até potenciais extremamente rápidos diretamente relacionados ao comportamento cortical do indivíduo (SILVA, 1996), a idade, a estados de vigília, sono e ao movimento (FTAITI *et al.*, 2010) participando, portanto, do comportamento cognitivo, estados de prontidão e do comportamento motor, condições consideradas essenciais no processo de aprendizagem humana (BONINI-ROCHA *et al.*, 2008).

Paz *et al.* (2012) enfatizam que dependendo das características da tarefa a ser investigada, a ativação neural pode alterar a interação tálamo-cortical e córtico-cortical entre agrupamentos neuronais, conseqüentemente modulando a geração de diferentes bandas de frequências. Para tal, a diminuição ou aumento da potência das bandas de frequências podem ser induzidos por modificações prévias na sincronização de grupos neuronais básicos.

As bandas de frequências comumente classificam-se em: delta (δ / 0,5-3 Hz) associada a estados de repouso e sono. Além disso, a existência excessiva focal ou difusa de atividade delta geralmente é indicativa da existência de lesões ou disfunções cerebrais; a banda teta (θ / 4 a 8 Hz) é mediada por mecanismos subtalâmicos e está envolvida, por exemplo, no processo do sono, tomada de decisão e movimento; alfa (α / 8-13 Hz) associada a processos de inibição, facilitação e atenção cerebral, tem sua origem vinculada a áreas tálamo-corticais e CVP (CARROBLES, 2016); beta (β / 12-30 Hz) vincula-se à função motora, estados de alerta e pensamento ativo (LEE, LEE e JUNG, 2015); e gama (γ /30-100Hz) aos processos cognitivos, a fatores de integração espaço/temporal, proprioceptivos e ainda aos processos sensoriais-motores durante atividades que envolvem discriminação visual e preparação motora (TEIXEIRA *et al.*, 2010). Kobayashi *et al.* (2017) afirma que o desenvolvimento da tecnologia em aparelhos de EEG permitiu a expansão do conhecimento sobre as bandas de frequências, além de doenças e processos cognitivos.

Dentre as bandas de frequência, alfa é um dos componentes mais relevantes do sinal elétrico cortical, pois apresenta-se dominante na região occipital, durante estados de repouso e de vigília (KLIMESH, FELLINGER e FREUNBERGER, 2011), sendo ainda considerada relevante preditor do processamento efetivo da informação cortical durante atividades sensoriais-motoras e cognitivas (BABILONI *et al.*, 2009). Ressalta-se, que sua atividade tem relação inversa à atividade cortical, ou seja, quando atividade cortical está elevada a atividade de alfa está baixa e vice-versa (MACHADO *et al.*, 2007). Deste modo, a elevação da atividade em alfa sugere além da diminuição da atividade cortical, a fadiga, o relaxamento ou mesmo diminuição da ansiedade (MORAES *et al.*, 2007).

A banda beta, por sua vez, é frequentemente mais observada nas regiões de maior suprimento sanguíneo (SILVA e TRINDADE FILHO, 2015), possui frequência de caráter rápida e por relacionar-se à atividade motora e atenção é mais evidente nas áreas frontal e central do córtex cerebral, que respectivamente estão associadas ao planejamento e execução de movimentos voluntários. Além disso, o aumento da atividade de beta pode estar relacionado à maior ativação cortical (PAULUCIO *et al.*, 2018; BASTOS *et al.*, 2004).

As bandas de frequências, de modo geral, permitem a análise de outras variáveis eletroneurofisiológicas, dentre as quais, a assimetria e coerência que são de interesse no presente estudo. A assimetria permite avaliar a predominância hemisférica cerebral através da distribuição de potência entre pares de eletrodos posicionados no mesmo local, porém em hemisférios contrários (ECARD *et al.*, 2007).

Nessa perspectiva, Ferreira *et al.* (2006) investigaram a associação entre os estados de oscilação na assimetria frontal da banda alfa e alterações no estado emocional de 11 indivíduos hígidos após 24h de privação de sono. Os resultados mostraram que após o período de privação de sono, alterações significativas nos valores de assimetria foram observadas. Ativação cerebral migrou do hemisfério esquerdo, antes da privação de sono, para o hemisfério direito, após a privação de sono, nos pares de eletrodos frontais analisados (Fp1-Fp2, F3-F4 e F7-F8). Os autores observaram ainda que após privação de sono, a aplicação da escala de autoavaliação dos efeitos do humor revelou que os indivíduos mostraram-se significativamente menos alerta e ativos, além de mais sonolentos.

A coerência, por outro lado, corresponde à medida da covariância da potência espectral em determinadas bandas de frequência e entre pares de eletrodos do EEG. As informações fornecidas pela análise da coerência são essenciais, portanto, para o entendimento das conexões ou correlações neurais em diferentes áreas corticais (JORGE *et al.*, 2017).

Estudo conduzido com 10 indivíduos de ambos os gêneros (Grupo 1: 5 indivíduos com idade superior a 50 anos / Grupo 2: 5 indivíduos com idade inferior a 50 anos), comparou a coerência cerebral do EEG entre os dois grupos para avaliar se o nível de tal variável considerado como padrão de normalidade se altera com o processo de envelhecimento. Neste, os autores analisaram os sinais captados nos eletrodos O1 e O2 de ambos os grupos em duas sub-bandas alfa: alfa1 (8,0 a 10,0 Hz) e alfa 2 (10,1 a 12,5 Hz). A análise dos resultados revelou que não houve diferença significativa dos níveis de coerência na banda alfa entre indivíduos a cima de 50 anos de idade comparados aos adultos jovens (ANGHINAH *et al.*, 2005).

CAPÍTULO III

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Tipo de Estudo

Estudo transversal controlado, desenvolvido no Laboratório de Mapeamento Cerebral e Funcionalidade (LAMCEF) da Universidade Federal Do Piauí (UFPI), *Campus* de Parnaíba - PI, pautado nos princípios da Ética em Pesquisa com Seres Humanos constantes na Declaração de Helsinque e com a Resolução nº 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde. Inicialmente os participantes foram orientados quanto aos propósitos da pesquisa e após esclarecimentos foram convidados a assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (APÊNDICE A), que lhes garantiam o anonimato e a liberdade de desistência da pesquisa em qualquer fase de seu desenvolvimento. Além disso, o estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFPI – *Campus* Parnaíba-PI sob o nº 2.346.368.

3.2 Amostra

Vinte participantes, estudantes de ensino superior de ambos os gêneros (média de idade $20,3 \pm 1,85$ anos) participaram do estudo. Tal amostra é justificada com base no cálculo amostral para população infinita, no qual demonstra um erro menor ou igual a 0,05, que compreende ao erro tipo I, o mínimo aceitável para amostragem.

3.3 Critérios de Inclusão e Exclusão

Jovens destros manualmente, com idade entre 18 a 24 anos, que apresentassem PPC ≥ 10 cm (CUNHA *et al.*, 2013) e com acuidade visual (AV) para longe em ambos os olhos entre as frações de Snellen 20/20 ou 20/25 (indicativo de visão normal) e corrigida refracionalmente quando necessário (MESSIAS, JORGE e VELASCO E CRUZ, 2010). Foram excluídos do estudo os indivíduos que apresentassem patologia ocular, histórico de cirurgia oftalmológica, estrabismo manifesto, paralisia de qualquer músculo ocular e paralisia dos pares de nervos cranianos (III, IV e VI). Além disso, indivíduos que fizessem o uso de drogas psicotrópicas ou psicoativas e que tivessem sono inferior ao período de 8h na noite anterior ao experimento.

3.4 Materiais

O sinal eletroencefalográfico foi captado com o aparelho *Brain Net* BNT 36 - EEG (EMSA–Instrumentos Médicos, Brasil). O sistema internacional 10-20 foi usado com 20 canais no Sistema EEG *Braintech-3000* (EMSA-Instrumentos Médicos, Brasil). Os 20 eletrodos foram dispostos em uma touca de *nylon* (EletroCap Inc., Fairfax VA, EUA), originando derivações monopolares com os lóbulos da orelha interligados, usados como pontos de referência. A impedância dos eletrodos do EEG foi mantida sob 5-10 K Ω . Os dados adquiridos tinham amplitude total de menos do que 100 μ V. O sinal do EEG foi amplificado com um ganho de 22.000Hz, analogicamente filtrados entre 0,01Hz (passa-alta) e 60Hz (passa-baixa), com 240Hz. O *software* Data Acquisition (Delphi 5.0), foi desenvolvido no Laboratório de Mapeamento Cerebral e Integração Sensório-Motora (Rio de Janeiro – RJ, Brasil) com filtro *notch* 60Hz, com passa-alta de 0,001Hz e a passa-baixa de 60Hz.

O processamento dos dados do EEG foi conduzido no software *Matlab* (*Matwords, Inc.*) e avaliados usando a ferramenta *EEGlab* que consiste em uma ferramenta interativa do *Matlab*, útil no processamento de eventos relacionados à EEG e outros dados eletrofisiológicos, incluindo análises de componentes independentes – ICA (DELORME e MAKEIG, 2004; COSTA *et al.*, 2017).

O PPC foi avaliado por meio de uma régua centimétrica com adaptação para PPC (Foto I – Apêndice B), bem como utilizada para estimulação da convergência proximal (ECP). Esta foi confeccionada em material acrílico branco-leitoso e baseada no modelo da régua de convergência e acomodação (*Bernell Corporation, Mishawaka, USA*). Possui 53 cm de comprimento e uma base móvel utilizada para adaptar um ponto negro (0,25 cm), que por sua vez, serviu como alvo para os participantes (Foto II - Apêndice B). A parte inicial da régua (0 cm) foi fixada na testa, entre as sobrancelhas e a outra segura pela mão do pesquisador. O participante permanecia sentado, sendo solicitado a seguir o alvo em aproximação (JANG, PARK e JANG, 2016). O alvo foi movido pelo pesquisador numa velocidade de 1 a 2 cm por segundo, sendo repetido 3 vezes. Em cada repetição, os participantes deveriam alertar o pesquisador o momento em que o alvo duplicasse, para que o ponto de ruptura fusional fosse quantificado. O valor do PPC, portanto, resultou da média das 3 repetições (HAYES *et al.*, 1998).

Para avaliar os sintomas e a frequência dos desconfortos visuais dos participantes, foi aplicado o *Convergence Insufficiency Symptom Survey* (CISS) - versão português (vp) que é um questionário confiável e validado no Brasil, dividido em 15 itens além de uma escala de

Likert com 5 níveis de resposta. Cada item se concentra em um sintoma, sendo que possui a sensibilidade de discriminar qual o sintoma o sujeito apresenta (TAVARES, 2014).

No que se refere à dominância manual dos participantes, aplicou-se o inventário de Edimburgo (OLDFIELD, 1971) (ANEXO I), enquanto que para determinar a dominância ocular de longe e perto utilizou-se, respectivamente, os testes: determinação da lateralidade motora de longe e determinação da lateralidade motora de perto (BRICOT, 2010). Para avaliar a AV para longe (6 m) dos participantes foi utilizada a Escala Optométrica do tipo “E” de Snellen (MOREIRA NETO, MOREIRA e MOREIRA, 2014).

A avaliação da AV é um método universalmente aceito, de fácil aplicabilidade e baixo custo (OLIVEIRA *et al.*, 2013). A pontuação do participante é realizada conforme a última linha em que o mesmo consegue acertar todos os optotipos dispostos em diferentes orientações/direções. O valor da AV é descrito pelas frações (20/200; 20/100; 20/70; 20/50; 20/40; 20/30; 20/25; 20/20; 20/15; 20/13; 20/10) expostas na lateral de cada uma das linhas da tabela. Durante a avaliação o participante deve indicar com a mão para qual direção (para cima ou baixo, para a direita ou esquerda) porção aberta da letra “E” está direcionada. A avaliação visual é feita com cada olho separadamente, com a correção refracional, quando necessária, dependendo do objetivo da medida (LUIZ *et al.*, 2009). Os resultados da avaliação da AV para longe expressos em termos de frações Snellen da escala podem ser interpretados como: 20/20 ou 20/25 (visão normal), 20/30 a 20/50 (perda visual leve), 20/70 a 20/100 (perda visual moderada) e 20/200 ou pior (perda visual grave) (MESSIAS, JORGE e VELASCO E CRUZ, 2010).

3.5 Procedimento Experimental

Inicialmente foi medido o valor PPC por meio da régua centimétrica conforme metodologia proposta por Hayes e colaboradores (1998). Em seguida, foi aplicado o inventário de Edimburgo, os testes para dominância ocular, o questionário CISS-*vp* e a avaliação da AV.

O questionário CISS-*vp* (ANEXO II) é composto por 15 questões cuja resposta é pontuada numa escala de *Likert* que varia de 0 a 4, sendo que 0 (zero) corresponde a “nunca”, 1 (um) a “com pouca frequência”, 2 (dois) a “às vezes”, 3 (três) a “com muita frequência” e 4 (quatro) representa “sempre”, ou seja, a maior frequência na ocorrência dos sintomas. O z total é a soma das respostas de todos os itens e varia num intervalo entre 0 (totalmente

assintomático) e 60 (o mais sintomático) (TAVARES, 2014). Nesse contexto, o participante foi instruído previamente e só então respondeu ao questionário.

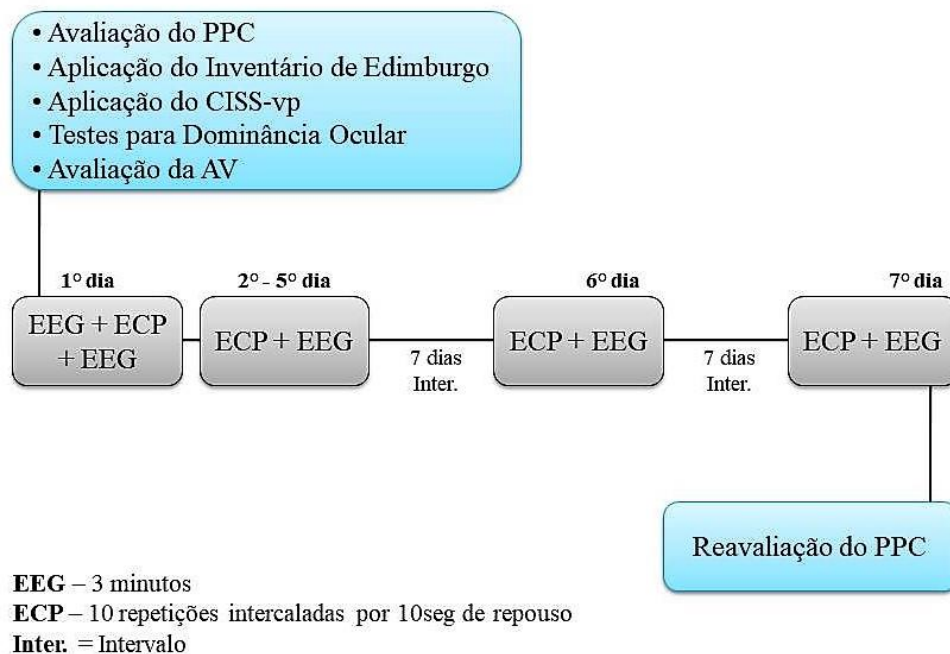
Para determinar a dominância ocular para longe, os participantes com as mãos estendidas, foram instruídos a segurar uma folha de papel (21 x 29,7 cm) com um orifício central (2,5 cm de diâmetro) diante do rosto e olhar para um ponto fixo a 1,80 m a sua frente, e em seguida, aproximar a folha do rosto sem dispersar a visão do ponto fixo. Com a aproximação, o orifício da folha se encontrou sobre o olho dominante (BRICOT, 2010). Para dominância ocular para perto os participantes receberam um espelho (2cm x 6cm) com suporte cilíndrico para mãos, o qual seguraram-no com uma das mãos, estando o olhar em posição de leitura a uma distância de 33cm (medida com uma fita métrica). Com ambos os olhos abertos, os mesmos foram instruídos a observar a ponta do nariz através do espelho. Ao verem a ponta do nariz, o participante ocluía um dos olhos e questionava se o nariz ainda era visto ou se sumiu do espelho. Quando a ponta do nariz ainda era vista, o olho não ocluso é o dominante para perto, por outro lado, se a imagem do nariz sumia, o outro olho era o dominante (BRICOT, 2010). Os testes foram repetidos 3 vezes.

Em relação à medida da AV, a Escala Optométrica de Snellen foi posicionada numa parede a uma distância de 6m dos participantes, em uma sala com iluminação adequada ao teste (MOREIRA NETO, MOREIRA e MOREIRA, 2014). Para o procedimento, os participantes permaneciam sentados. Inicialmente foram instruídos sobre a realização do teste, no qual, o pesquisador indicava a linha de optotipos e os mesmos deveriam informar a direção de abertura do “E”. A avaliação foi realizada pela oclusão não compressiva de um olho de cada vez, iniciando pela oclusão do olho esquerdo.

Após estarem em conformidade com os critérios de inclusão (seção 3.3) e assinatura do TCLE, os participantes foram conduzidos à cabine de coleta de dados para a realização do experimento. Todos os participantes do estudo permaneceram sentados confortavelmente em uma cadeira com os pés apoiados ao chão, com as articulações de tornozelo, joelho e quadril em uma angulação de 90°. Para a captação de EEG os participantes tiveram a touca de eletrodos acoplada ao couro cabelo.

O experimento foi conduzido da seguinte maneira: no primeiro dia foram captados 3 minutos de EEG (linha de base), no qual os participantes não realizaram nenhum tipo de movimento, permanecendo com os olhos abertos e fixos em um ponto redondo de referência (2,8cm) colocado 1,80m a sua frente. Cabe ressaltar que tal distância correspondeu às dimensões do espaço físico permitidas, portanto não se refere a uma condição de acomodação e convergência zero, exigindo um esforço vergencial e acomodativo. Posteriormente, deu-se

início a ECP, na qual foi repetido 10 vezes, cada repetição intercalada por 10 segundos de repouso, uma adaptação do protocolo de Hayes *et al.* (1998). Nesse momento, em vez dos participantes avisarem o pesquisador quando o alvo duplicasse (ponto de diplopia), os mesmos foram instruídos a forçar os olhos para ver um único ponto até o final da estimulação. E em seguida foram captados mais 3 minutos de EEG. A partir do segundo dia de experimento, aplicou-se apenas a ECP seguido de captação do EEG. O tempo total de estimulação foi de 7 dias, sendo 5 consecutivos e após 7 e 14 dias de intervalo (considerando o 5º dia) respectivamente, os participantes retomaram para repetir o procedimento, representando, portanto o 6º e 7º dia de ECP. Neste último, o PPC de cada participante foi reavaliado (Figura 5).



Fonte: Própria

Figura 5 – Procedimento experimental.

3.6 Análise Estatística

O delineamento estatístico permitiu analisar o valor do PPC antes e após a ECP, e a assimetria e coerência das bandas alfa (8-13 Hz) e beta (12-30 Hz) nas seguintes combinações de eletrodos: Fp1/Fp2, F3/F4, F7/F8, C3/C4, T3/T4, P3/P4, T5/T6 e O1/O2. Assim, para identificar se houve diferença estatisticamente significante no valor do PPC dos participantes, foi realizado um teste *t* pareado. Uma *Two-way* ANOVA de medidas repetidas foi realizada

para analisar os fatores “momento” (Linha de Base – LB; 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 6º e 7º dia) e “área cortical” (Fp1/Fp2, F3/F4, F7/F8, C3/C4, T3/T4, P3/P4, T5/T6 e O1/O2). Para tal, foi analisado o teste de Mauchly’s para avaliar a hipótese de esfericidade e o procedimento de Greenshouse-Geisser (G-G ϵ) para corrigir os graus de liberdade. A análise da normalidade e homocedasticidade dos dados foram previamente verificadas pelos testes de Levene e Shapiro-Wilk ($p > 0,05$). As interações entre os fatores foram investigadas utilizando uma *One-way* ANOVA de medidas repetidas seguido do teste de *post-hoc*. Para análise da interação foi considerado as correções de Bonferroni ($p < 0,025$).

O tamanho do efeito foi estimado como *Eta* parcial ao quadrado (η^2_p). A potência estatística e o intervalo de confiança de 95% (IC 95%) foram calculados para as variáveis dependentes. A magnitude do efeito foi interpretada utilizando as recomendações sugeridas por Hopkins *et al.*, (2009): 0,0=trivial; 0,2=pequeno; 0,6=moderado; 1,2=grande; 2,0=muito grande; 4,0=quase perfeita. A probabilidade de 5% para o erro tipo I foi adotada em todas as análises ($p \leq 0,05$). As análises foram conduzidas utilizando o software *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) para *Windows* versão 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, EUA).

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS

4.1 Avaliações Visuais

4.1.1 Dominância Ocular

A avaliação da dominância ocular por meio dos testes de lateralidade motora de longe e perto revelou que 100% dos voluntários apresentavam dominância ocular direita para longe (n=20), enquanto que para dominância ocular para perto, 80% à direita (n=16) e 20% à esquerda (n=4).

4.1.2 Respostas ao CISS-vp

Na aplicação do CISS-vp e respectiva classificação, foi detectado que de 20 participantes do estudo, 15% (n=3) eram assintomáticos, pois atingiram um escore entre 0 – 10 (não sugestivo de IC), 65% (n=13) sintomáticos cujo escore foi entre 11 – 36 (suspeita de IC) e 20% (n=4) sintomáticos, escore entre 37 – 60 (sugestivo de IC). Além disso, os participantes que atingiram um escore superior a 11 pontos relataram sentir cansaço, tensão e desconforto visual em tarefas que exigem visão próxima, dor de cabeça, perda da concentração, dificuldade de lembrar-se do que ler, além da necessidade de reler a mesma linha de um texto. A frequência na ocorrência desses sintomas foi pontuada, especialmente, nos níveis de resposta “às vezes” (52,8%) e “com muita frequência” (47,2%).

4.1.3 PPC e a Estimulação Vergencial Proximal

Quanto à avaliação inicial do PPC dos participantes, os resultados revelaram que os valores variaram entre 10 cm (mínimo) e 32,66 cm (máximo), e que o valor da média foi de 13,48 cm ($\pm 6,34$). Em contraste, após o último dia de ECP, os valores variaram entre 3,6 cm (mínimo) e 20,7 cm (máximo) revelando uma média de 7,12 cm ($\pm 3,46$). Na comparação dos dois momentos identificamos uma diminuição de 6,36 cm no valor do PPC, ou seja, menos 47,18% do valor inicial. Desta forma, o teste *t* pareado revelou que a diferença após a ECP foi estatisticamente significativa (IC 95%, 4,03 – 8,69) 1,11, $t(19)=5,72$, $p=0,001$, $d=0,78$ como

pode ser observado na figura 6. Além disso, através dos relatos dos participantes observamos que todos desconheciam a existência da condição ocular.

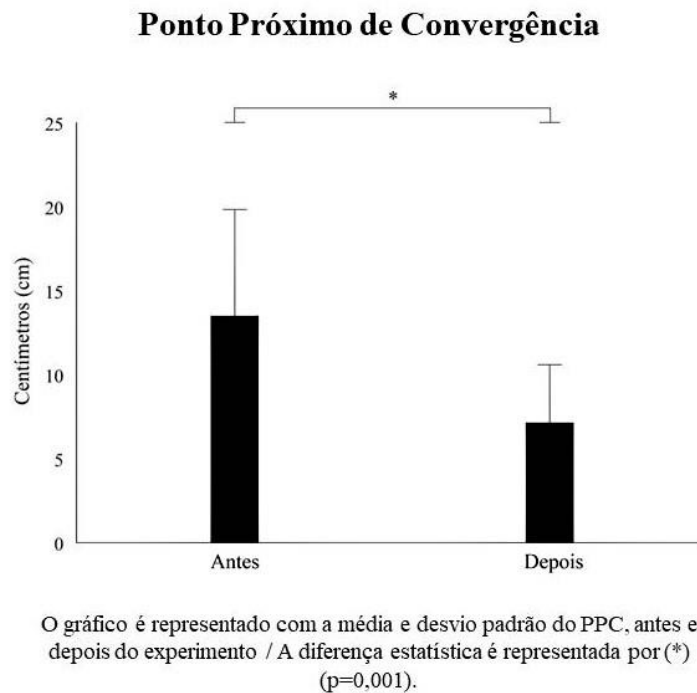
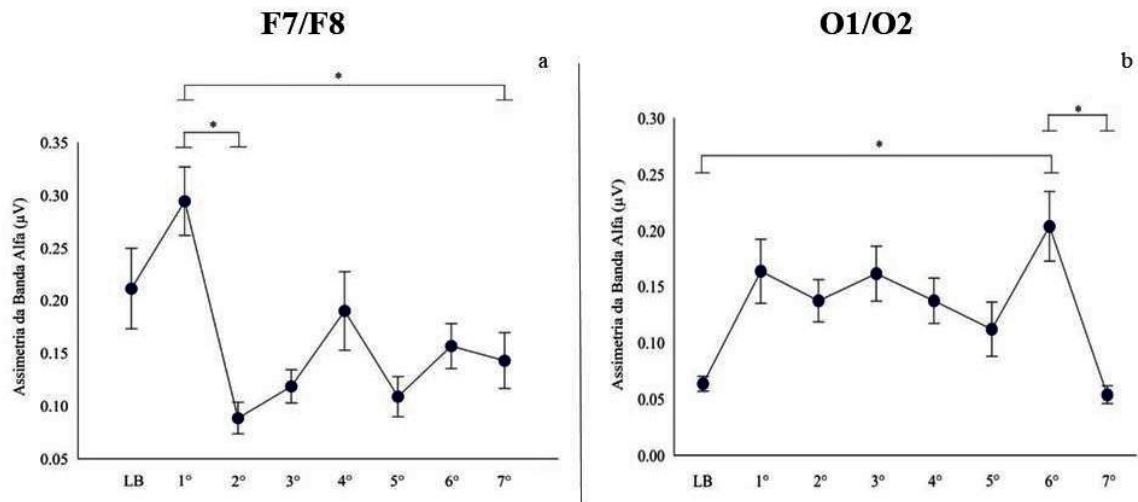


Figura 6 - PPC dos participantes antes e depois da ECP.

4.2 Aspectos Eletrofisiológicos

4.2.1 Assimetria das Bandas Alfa e Beta

A *Two-way* ANOVA de medidas repetidas revelou interação entre os fatores momento e área cortical para a assimetria das bandas alfa [$F(2;12,950)=2,599$; $p=0,002$, $\eta^2p=0,12$; poder=98%] e beta [$F(2;11,914)=2,346$; $p=0,008$, $\eta^2p=0,11$; poder=96%]. Na análise da interação para banda alfa, foi observado diferença estatística para o fator área cortical, especificamente em F7/F8 [$F(6;3,931)=6,363$; $p<0,0025$] e em O1/O2 [$F(5;4,700)=5,649$; $p<0,0025$]. Nas derivações de eletrodos F7/F8 foram observadas diminuições significativas na assimetria envolvendo o 1° e 2° dia, e o 1° e 7° dia (Figura 7), enquanto que em O1/O2 foi identificado aumento significativo entre a LB e o 6° dia, e diminuição entre o 6° e 7° dia (Figura 7).



Os gráficos são representados com a média e desvio padrão da assimetria da banda alfa em F7/F8 (a) e O1/O2 (b) / (*) diferença estatisticamente significante ($p < 0,025$) / LB: Linha de base / 1° - 7° (dias de experimento).

Figura 7 – Assimetria da banda alfa após ECP.

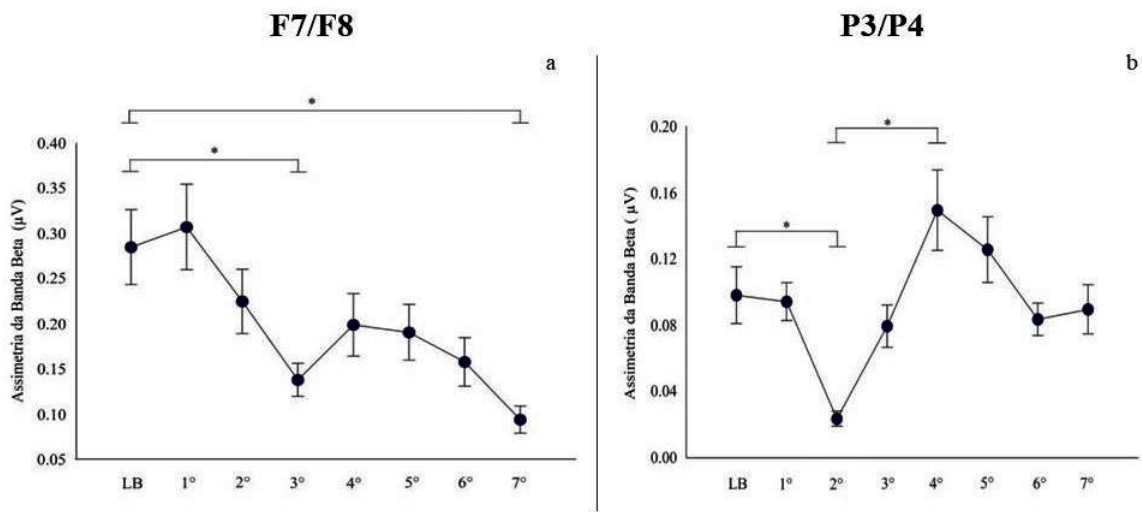
Para o fator momento de experimento, na análise da interação identificou-se variações na predominância cortical, especificamente na LB [$F(5;4,203)=5,820; p < 0,0025$]; no 1° dia [$F(6;4,274)=6,049; p < 0,0025$]; 4° dia [$F(6;4,260)=6,314; p < 0,0025$]; e no 7° dia [$F(4;4,726)=4,365; p < 0,0025$]. Os dados referentes a estas variações na assimetria da banda alfa estão descritos na tabela 1.

Tabela 1 - Variações na assimetria da banda alfa durante os momentos de ECP.

| Momentos | Derivações de Eletrodos |
|----------|---|
| LB | C3/C4 > P3/P4*; F7/F8, C3/C4, e T3/T4 > O1/O2* |
| 1° | F7/F8 > Fp1/Fp2 e F3/F4* T3/T4 > Fp1/Fp2* |
| 2° | - |
| 3° | - |
| 4° | T3/T4 > Fp1/Fp2, F3/F4 e C3/C4* |
| 5° | - |
| 6° | - |
| 7° | T3/T4 e T5/T6 > O1/O2* |

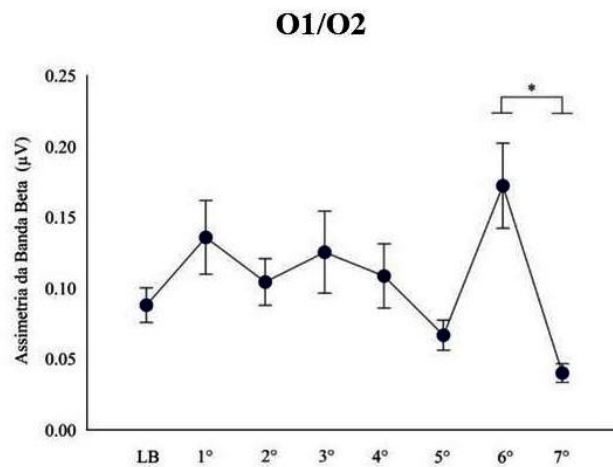
(*) Diferença estatística: $p < 0,025$ / (-) não houve diferença estatística / LB: Linha de Base / 1° - 7° (dias de experimento) / (>) maior predominância cortical / (<) menor predominância cortical
Fonte: Própria

Ao que se refere à banda beta, para o fator área cortical, a análise da interação revelou diferenças significativas em F7/F8 [$F(5;4,864)=5,245$; $p<0,025$]; P3/P4 [$F(6;4,470)=6,313$; $p<0,025$]; e em O1/O2 [$F(4;4,324)=4,363$; $p<0,025$]. Demonstrado na Figura 8a, em F7/F8 a assimetria da banda beta apresentou diminuição entre a LB e os dias 3 e 7, respectivamente. Em P3/P4, por outro lado, diminuição entre a LB e o 2º dia, e aumento entre o 2º e 4º dia de ECP (Figura 8b). Já em O1/O2 a diminuição foi observada apenas entre os dias 6 e 7 de ECP (Figura 9).



Os gráficos são representados com a média e desvio padrão da assimetria da banda beta em F7/F8 (a) e P3/P4 (b) / (*) diferença estatisticamente significativa ($p<0,025$) / LB: Linha de base / 1º - 7º (dias de experimento).

Figura 8 – Assimetria da banda beta após ECP.



O gráfico é representado com a média e desvio padrão da assimetria da banda beta / (*) diferença estatisticamente significativa ($p<0,025$) / LB: Linha de base / 1º - 7º (dias de experimento).

Figura 9– Assimetria da banda beta em O1/O2 após ECP.

Variações na predominância cortical também foram observadas ao longo do experimento para banda beta, especificamente na LB [F(7;4,487)=7,296; $p<0,025$]; no 1° dia [F(5;3,808)=5,379; $p<0,025$]; 2° dia [F(10;4,845)=10,925; $p<0,025$]; 3° dia [F(4;4,230)=4,084; $p<0,025$]; 5° dia [F(8;4,229)=8,100; $p<0,025$]; 6° dia [F(3;5,084)=3,619; $p<0,025$]; e no 7° dia [F(8;4,015)=8,326; $p<0,025$]. Tais alterações estão dispostas na tabela 2, a seguir.

Tabela 2 - Variações na assimetria da banda beta durante os momentos de ECP

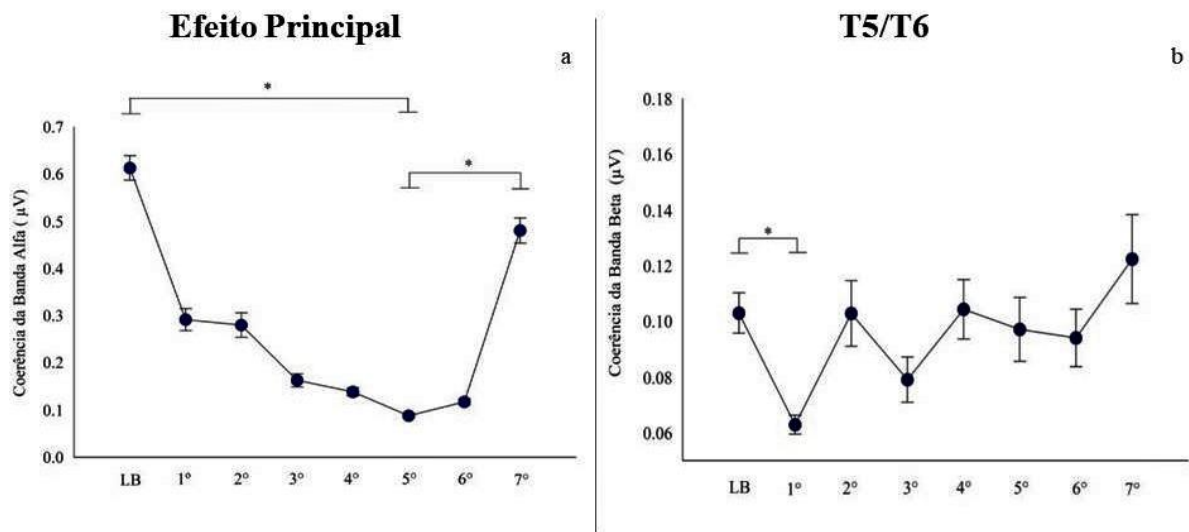
| Momentos | Derivações de Eletrodos |
|----------|--|
| LB | T3/T4 > P3/P4*; F7/F8, C3/C4, e T3/T4 > O1/O2*. |
| 1° | F7/F8 > F3/F4 e P3/P4*. |
| 2° | Fp1/Fp2 > F3/F4*; P3/P4 < Fp1/Fp2, F7/F8, C3/C4, T3/T4, T5/T6 e O1/O2*; T3/T4 < O1/O2*. |
| 3° | P3/P4 < T3/T4 e T5/T6*. |
| 4° | - |
| 5° | Fp1/Fp2 > F3/F4*; T3/T4 > F3/F4, P3/P4 e O1/O2*; F7/F8 > O1/O2*. |
| 6° | T3/T4 > P3/P4* |
| 7° | Fp1/Fp2 > F7/F8 e P3/P4*; O1/O2 < Fp1/Fp2, F3/F4, C3/C4, T3/T4, e T5/T6*. |

(*) Diferença estatística: $p<0,025$ / (-) não houve diferença estatística / LB: Linha de Base / 1° - 7° (dias de experimento) / (>) maior predominância cortical / (<) menor predominância cortical
Fonte: Própria

4.2.2 Coerência das Bandas Alfa e Beta

Observou-se que na coerência da banda alfa houve efeito principal para o fator momento [F(119;3,470)=119,527; $p<0,05$; $\eta^2p=0,86$; poder=100%]. O teste de *post-hoc* revelou diminuição significativa da coerência entre a LB e o 5° dia [(IC95%, -0,617 a -0,433); $p<0,05$]. Em contraste, entre o 5° e 7° dia a coerência aumentou [(IC95%, 0,297 a 0,488); $p<0,05$] (Figura 10a).

A coerência da banda beta, por sua vez, apresentou interação entre os fatores momento e área cortical [F(2;8,994)=2,707; $p=0,006$; $\eta^2p=0,125$; poder=94%]. A análise da interação identificou que dentre as áreas corticais, apenas T5/T6 apresentou diferenças no acoplamento cortical [F(3;4,450)=3,530; $p<0,025$]. Conforme ilustrado na figura 10b, observa-se que em T5/T6 houve diminuição da coerência no comparativo entre a LB e o 1° dia de ECP.



Os gráficos são representados com a média e desvio padrão da coerência das bandas alfa (a) com (*) diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) e beta (b) com (*) diferença estatisticamente significativa ($p < 0,025$) / LB: Linha de base / 1° - 7° (dias de experimento).

Figura 10 – Coerência das bandas alfa (a) e beta (b) após ECP.

Mediante análise da interação, foi observado mudanças no acoplamento cortical para a banda beta em todos os momentos do experimento. Na LB [$F(47;2,760)=47,357$; $p < 0,025$]; 1° dia [$F(31;2,660)=31,828$; $p < 0,025$]; 2° dia [$F(39;2,728)=39,093$; $p < 0,025$]; 3° dia [$F(43;2,622)=43,454$; $p < 0,025$]; 4° dia [$F(45;3,137)=45,854$; $p < 0,025$]; 5° dia [$F(25;2,490)=25,525$; $p < 0,025$]; 6° dia [$F(49;1,943)=49,895$; $p < 0,025$]; e no 7° dia [$F(41;2,412)=41,191$; $p < 0,025$]. Tais mudanças estão dispostas na tabela 3.

Tabela 3 - Variações na coerência da banda beta durante os momentos de ECP

| Momentos | Derivações de Eletrodos |
|----------|--|
| LB | F3/F4, C3/C4, T3/T4, P3/P4 e T5/T6 < Fp1/Fp2*; O1/O2 > F3/F4, F7/F8, C3/C4, T3/T4, P3/P4, T5/T6*. |
| 1° | F3/F4, C3/C4, T3/T4, P3/P4 e T5/T6 < Fp1/Fp2*; P3/P4 < F7/F8 e C3/C4*; T5/T6 < F7/F8 e C3/C4*; O1/O2 > F3/F4, F7/F8, C3/C4, T3/T4, P3/P4, T5/T6*. |
| 2° | F3/F4, F7/F8, C3/C4, T3/T4, P3/P4 e T5/T6 < Fp1/Fp2*; P3/P4 < F3/F4 e C3/C4*; O1/O2 > F3/F4, F7/F8, C3/C4, T3/T4, P3/P4, T5/T6*. |
| 3° | F3/F4, F7/F8, C3/C4, T3/T4, P3/P4 e T5/T6 < Fp1/Fp2*; P3/P4 < F3/F4 e F7/F8*; T5/T6 < F7/F8*; O1/O2 > F3/F4, F7/F8, C3/C4, T3/T4, P3/P4, T5/T6*. |

| | |
|----|---|
| 4° | F3/F4, F7/F8, C3/C4, T3/T4, P3/P4 e T5/T6 < Fp1/Fp2*; F3/F4 > C3/C4*; P3/P4 < F3/F4 e F7/F8*; O1/O2 > F3/F4, F7/F8, C3/C4, T3/T4, P3/P4, T5/T6*. |
| 5° | F3/F4, C3/C4, T3/T4, P3/P4 e T5/T6 < Fp1/Fp2*; F3/F4 > P3/P4*; O1/O2 > F3/F4, F7/F8, C3/C4, T3/T4, P3/P4, T5/T6*. |
| 6° | F3/F4, F7/F8, C3/C4, T3/T4, P3/P4 e T5/T6 < Fp1/Fp2*; F3/F4 > T3/T4*; O1/O2 > F3/F4, F7/F8, C3/C4, T3/T4, P3/P4, T5/T6*. |
| 7° | F3/F4, F7/F8, C3/C4, T3/T4, P3/P4 e T5/T6 < Fp1/Fp2*; P3/P4 < F3/F4, C3/C4 e T3/T4*; O1/O2 > F3/F4, F7/F8, C3/C4, T3/T4, P3/P4, T5/T6*. |

(*) Diferença estatística: $p < 0,025$ / LB: Linha de Base / 1° - 7° (dias de experimento) / (>) maior acoplamento cortical / (<) menor acoplamento cortical
Fonte: Própria

CAPÍTULO V

5 DISCUSSÃO

O presente estudo investigou as repercussões eletroneurofisiológicas na atividade cortical de jovens universitários com insuficiência de convergência mediante estimulação da convergência proximal binocular. A investigação se deu por meio da análise da assimetria e coerência das bandas alfa e beta em oito pares de derivações de eletrodos (Fp1/Fp2, F3/F4, F7/F8, C3/C4, T3/T4, P3/P4, T5/T6 e O1/O2). Além disso, analisou a influência da ECP no controle da convergência proximal binocular.

5.1 Avaliações Visuais

Nesse estudo, todos os participantes eram destros tanto para membro superior quanto para membro inferior. Por outro lado, a avaliação da dominância ocular para perto e longe, revelou lateralidade cruzada, especificamente para visão de perto. Zheleznyak *et al.* (2015) referem ser importante a apreciação da dominância ocular para longe e perto, no sentido de otimizar a performance do limiar de contraste nas diferentes distâncias do olhar em condições adversas, por exemplo, na monovisão.

A lateralidade cruzada ocular para perto encontrada em 4 dos participantes estudados confirma a existência de um padrão de dominância ocular que, com frequência, costuma ser ignorado pelos profissionais de saúde em geral (SECIN, 2016). No entanto, esse achado demonstra que a lateralidade cruzada ocular pode interferir diretamente na definição de dominância ocular e na coordenação oculomanual. Além disso, ressalta-se que a dominância ocular para perto deve ser analisada quando se pretende analisar ações de caráter binocular proximal (SECIN, 2016). Assim, neste estudo, a análise da lateralidade cruzada ocular para perto foi necessária, pois considerando que os participantes da amostra eram estudantes, a leitura é uma prática ocular frequente na rotina universitária e compreende um tipo de ação binocular proximal.

Neste estudo, a aplicação do CISS-vp demonstrou que a maioria dos participantes é sintomática, com nível de frequência característico. Em virtude dos participantes da amostra estarem em pleno processo de formação acadêmica, consideramos que sintomas como: cansaço, tensão e desconforto visual em tarefas que exigem visão próxima, cefaleia e perda da concentração, referidos “com muita frequência” e “às vezes” podem interferir negativamente

na aquisição e processamento da informação, conseqüentemente, no processo de aprendizagem. Resultados semelhantes foram observados por Rouse *et al.* (2004) ao analisar a validade e a confiabilidade do CISS em 92 adultos de 19 a 30 anos de idade, sendo 46 destes com IC e 46 com visão binocular normal. Neste, observaram que em média, um adulto com IC pontua os níveis de resposta “com muita frequência” ou “sempre” em aproximadamente 8 itens, com uma pontuação média total de 37. Além disso, 70% do grupo com IC responderam sentir os olhos cansados ou desconforto visual em tarefas de visão próxima.

Embora o CISS seja uma ferramenta válida, não pode ser usada para determinar se o individuo tem ou não a condição deve apenas agregar informações úteis à avaliação clínica da IC. Isto pode ser justificado devido os sintomas visuais postulados no questionário não serem específicos da IC, sendo inclusive comuns, e que adultos jovens podem apresentar IC mesmo sem sintoma (HORWOOD, TOOR e RIDDELL, 2014). Quinze por cento (3 participantes) da amostra deste estudo representa tal afirmação, pois mesmo com PPC ≥ 10 cm atingiram um escore do CISS-vp entre 0 – 10 pontos, caracterizando-os como assintomáticos. Esse achado alerta que a IC é uma condição fisiologicamente adaptada aos hábitos visuais de cada um, que nem toda IC é patológica, podendo ser sintomática ou não e que, portanto a atribuição de “disfunção” deve ser evitada (SECIN, 2016).

Embora 100% da amostra possuísse IC (PPC ≥ 10 cm), e 85% (17 participantes) eram sintomáticos, nenhum dos participantes achava que possuía a condição ocular. O estudo de Horwood, Toor e Riddell (2014), no qual foi aplicado o CISS em 167 estudantes universitários de graduação e pós-graduação, tendo IC caracterizada com PPC ≥ 8 cm, os autores observaram que mesmo 31% da amostra estudada apresentasse um escore CISS ou IC clínico elevado, nenhum dos participantes achava que possuía “problema” com os olhos. Desta forma, os autores postularam como justificativa para os seus achados que a rotina de um estudante pode ser desafiadora e que parte dos sintomas vivenciados representa uma parcela normal de um estilo de vida típico. Além disso, fatores internos e externos, por exemplo, estudar em situações de estresse, cansaço e pouca iluminação do ambiente; conteúdo complexo; material impresso em tamanho pequeno ou não adequado; e falhas no processo de alfabetização podem ser as causas reais dos sintomas e não a IC propriamente dita (HORWOOD, TOOR e RIDDELL, 2014).

Em relação ao PPC, o valor médio dos participantes era de 13,48 cm e que após a ECP reduziu para 7,12 cm. Observa-se que, embora uma redução significativa tenha sido alcançada, os setes dias de ECP não foram suficientes para normalizar, de modo geral, o valor do PPC dos participantes, uma vez que, o valor de normalidade prezado é de 5 a 6 cm

(BORSTING *et al.*, 2012). Deste modo, inferimos que um tempo maior de estimulação seria necessário para alcançar valores normais de PPC. Em contrapartida, a estimulação realizada, levou ao valor próximo da normalidade, sugerindo então, que a estimulação continuada favorece a melhora de tal função binocular.

Von Noorden e Campos (2002) argumentam que o PPC pode ser treinado ou estimulado, com exceção de casos extremos de IC, e quanto mais repetições são realizadas mais o PPC se aproxima dos olhos, desta forma justifica a ECP empregada no presente estudo. Além disso, os autores afirmaram que em um único treinamento, se o indivíduo for solicitado a fazer um esforço especial para convergir, o mesmo poder obter um PPC melhor do que realmente é usado em sua visão diária.

Atualmente, a terapia ortóptica/vergencial é reconhecida como o método de tratamento mais eficaz e cientificamente comprovado para a IC. O grupo de estudo *Convergence Insufficiency Treatment Trial Investigator* (CITT) foi o primeiro a comparar diferentes tipos de tratamentos para a IC presente em crianças e adultos jovens, por meio de estudo clínico randomizado. O protocolo de terapia de vergência / acomodação baseada em consultório com reforço domiciliar envolveu um período de 12 semanas, e se mostrou a forma mais eficaz de tratamento da IC em crianças. Em adultos jovens, o tratamento também é útil, porém com um nível de eficácia menor (CONVERGENCE INSUFFICIENCY TREATMENT TRIAL INVESTIGATOR GROUP, 2008).

Trieu e Lavrich (2018) consideram que embora a terapia de acomodação / vergência baseada em consultório seja atualmente o tratamento mais eficaz para a IC, nem sempre pode ser viável devido a restrições financeiras, de tempo ou geográficas. Por esta razão, exercícios de convergência manual como a estimulação do PPC podem ser utilizados como método de tratamento.

5.2 Assimetria das Bandas Alfa e Beta

Os resultados demonstraram que em F7/F8, na ECP houve diminuição na assimetria da banda alfa ao longo do experimento, enquanto que em O1/O2, crescimento da atividade até o 6º dia de ECP, seguido de diminuição no último dia para valor semelhante à LB. Conforme Sanei e Chamber (2007), valores positivos de assimetria são indicativos de predominância hemisférica à esquerda, em contraste, valores negativos indicam predominância à direita. Desta forma, os resultados apontam predominância hemisférica cerebral à esquerda. Devido à voluntariedade e atenção na realização da ECP, uma maior demanda cortical foi exigida em

áreas frontais correspondentes a F7/F8 e menor para áreas occipitais correspondentes a O1/O2. Diante disso, esses achados podem ser compreendidos devido à necessidade de contribuição de diversas áreas do córtex cerebral para o provimento dos movimentos vergenciais, pois em geral, as áreas visuais posteriores relacionam-se com o processamento sensorial e produção de movimentos mais reflexivos e estimulantes, enquanto que o córtex frontal se atém aos movimentos voluntários (LEIGH e ZEE, 2015).

Na análise do fator dia para a assimetria da banda alfa, os pares de eletrodos F7/F8, C3/C4 e T3/T4, de modo geral, apresentaram maior assimetria na atividade cortical, sinalizando o envolvimento tanto de áreas do córtex frontal quanto temporal. O par de eletrodos F7/F8 corresponde ao córtex pré-frontal ventrolateral, no qual desempenha papel crucial no controle das funções cognitivas como a memória (COSTA *et al.*, 2017); e C3/C4 ao córtex motor que segundo Diniz *et al.* (2012), seu funcionamento possui envolvimento com o planejamento, execução e controle do movimento voluntário. Além disso, se relaciona ao campo frontal dos olhos, região responsável pelo controle da atenção visual e execução motora de sacadas voluntárias.

As áreas cerebrais em que os eletrodos T3/T4 se localizam, correspondem ao córtex de associação auditiva, cuja função é fundamental para a integração, percepção e compreensão dos aspectos auditivos. Seu funcionamento também está envolvido significativamente na vigilância e na atenção sustentada; percepção visual relacionada à leitura, reconhecimento de palavras e desempenho da leitura; e percepção visual do que seja determinado objeto (HAMMOND, 2005). Por essas razões, atribuímos o aumento da assimetria nas áreas frontais e temporais frente à ECP, devido à necessidade do participante em memorizar as ações a serem realizadas no experimento, por se tratar de uma atividade voluntária, além da estimulação exigir atenção sustentada do participante durante a sua realização, uma vez que, mantinha os olhos fixos e atentos ao alvo da régua centimétrica até a proximidade da base do nariz.

Neste estudo, identificou-se que, embora em F7/F8 e O1/O2 houve diminuição na assimetria da banda beta, e em P3/P4 diminuição nos primeiros dias, seguida de aumento da assimetria, a mesma manteve-se em valores positivos, sugerindo predomínio do hemisfério cerebral esquerdo (SANEI e CHAMBER, 2007). Este achado indica a participação de três áreas distintas do córtex (frontal, parietal e occipital) em uma mesma tarefa.

Savoie *et al.* (2018) tratam do córtex parietal argumentando que é essencial na predição, observação e execução de uma ação. Funcionalmente, a região anterior do córtex parietal representa área somatossensorial, enquanto que a posterior é especializada, sobretudo,

na integração de informações sensoriais de regiões somáticas e visuais para o controle do movimento na qual as relações espaciais são relevantes (COOPER e O’SULLIVAN, 2016; MURPHY *et al.*, 2016). Quanto à região posterior, ou seja, o córtex parietal posterior (CPP), seu funcional é primordial no controle dos movimentos oculares vergenciais e das mãos, sobretudo, em espaços próximos (LEIGH e ZEE, 2015). Nesse contexto, considerando que a convergência ocular permite mudar a observação de um espaço distante para próximo, estudo propõe que sua iniciação pode, particularmente, ser dependente do CPP esquerdo, área correspondente ao eletrodo P3 (KAPOULA *et al.*, 2005). Assim, em conformidade com a literatura, este estudo reforça o envolvimento do CPP nos movimentos oculares vergenciais, em especial no movimento voluntário de convergência.

Outro estudo que fundamenta nossos achados é a revisão de literatura conduzida por Serra, Chen e Leigh (2011) sobre disfunções nos movimentos de vergência ocular, pois os autores observaram que evidências eletrofisiológicas de estudos envolvendo humanos e macacos indicaram que as vergências oculares são gerenciadas pelo córtex frontal e parietal como um componente do olhar tridimensional. Parte dessas evidências foi baseada em experimentos, nos quais humanos que tiveram convulsão ou receberam estimulação pré-operatória envolvendo o córtex frontal desenvolveram movimentos oculares disjuntivos.

Na análise da assimetria da banda beta as áreas com maior ativação cortical variaram à medida que o experimento foi sendo realizado. Conforme a localização dos pares de eletrodos (Fp1/Fp2, F7/F8, C3/C4, T3/T4, T5/T6 e O1/O2), nota-se que áreas relacionadas aos córtices frontal, temporal e occipital foram mais acionadas para a ECP proposta neste estudo, sobretudo frontal. Tais resultados corroboram com a literatura quanto o predomínio cortical sugerido para a banda beta, uma vez que, a mesma é mais evidente em áreas frontal e central do córtex cerebral. Ressalta-se ainda que sua atividade é proporcional a atividade cortical (PAULUCIO *et al.*, 2018). Quanto à participação do córtex temporal acredita-se que se deve a atenção sustentada exigida para a referida tarefa (HAMMOND, 2005), além do fato, de que as áreas temporais correspondentes a T3/T4 e T5/T6 compreendem áreas visuais de associação, portanto participam no processamento de tarefas visuais (DAMIANI, NASCIMENTO e PEREIRA, 2017).

Neste estudo verificou-se que tanto para assimetria da banda alfa quanto beta houve predominância hemisférica à esquerda. Ressalta-se que 80% (16) dos participantes eram destros oculares tanto para distância de perto quanto longe, apenas 20% (4) tinham lateralidade cruzada ocular para perto. Além disso, 100% da amostra eram destros manuais. Nessa perspectiva, considerando que a maioria dos participantes eram destros manuais e

oculares, a predominância hemisférica à esquerda se justifica com base na teoria da dominância hemisférica, na qual a execução de uma tarefa em um dos lados do corpo é comandada pelo hemisfério cerebral contralateral, isto é, o hemisfério esquerdo comanda o lado direito do corpo e vice-versa (PROVERBIO, AZZARI e ADORNI, 2011; PEREIRA, 2004). Além disso, embora o hemisfério esquerdo apresente superioridade para as funções linguísticas, como a análise e compreensão da linguagem, diferenciação de sons e outras características articulatórias (CARNEIRO e CARDOSO, 2009), estudos anteriores envolvendo análises de EEG, observaram o envolvimento do hemisfério esquerdo no processamento e controle de atividades visuomotoras (PROVERBIO, AZZARI e ADORNI, 2011; PROVERBIO AZZARI e ADORNI, 2013; SERRIEN e SOVIJÄRVI-SPAPE, 2015). Assim, os dados de assimetria apontaram que o hemisfério cerebral esquerdo participou ativamente no movimento de convergência ocular e que, portanto, também atua em tarefas visuais.

5.3 Coerência das bandas alfa e beta

No presente estudo, a coerência da banda alfa diminuiu entre a LB e 5º dia. Esse achado indica que a repetição e proximidade dos dias de ECP permitiram a retenção de informações, sinalizando aprendizagem motora ocular e que o aumento da coerência nos últimos dias ocorreu devido ao período de intervalo dado entre os dias 6 e 7 de ECP, necessitando desta forma, de maior comunicação entre os hemisférios cerebrais para a tarefa ocular solicitada. De fato, a diminuição da coerência sinaliza para a especialização de determinadas regiões corticais, indicando aquisição de memória, e conseqüentemente, aprendizagem (PORTELLA *et al.*, 2006) e que o aumento da coerência representa a coativação de duas áreas corticais para uma determinada tarefa (DINIZ *et al.*, 2012). Portanto, a coerência auxilia a transmissão seletiva e efetiva de informações entre redes ou circuitos neurais durante a integração sensorial para permitir o desempenho motor adaptativo e efetivo (WOMELSDORF e FRIES, 2006; LEE, CHOI e KWON, 2019).

Considerando que a ECP correspondeu ao movimento ocular de caráter voluntário e atencional, os resultados alcançados para coerência da banda alfa reforçam a sua associação com a função motora e também ao desempenho em outros domínios cognitivos, por exemplo, a atenção espacial, memória (MOTTAZ *et al.*, 2014; RIZK *et al.*, 2013) e percepção visual (MANUEL *et al.*, 2018). Além disso, esses resultados estão de acordo com estudo, no qual argumenta que a conectividade funcional da banda alfa em repouso implica na formação de

redes neurais úteis em tarefa futuras, confirmando assim, sua associação com o desempenho comportamental (MANUEL *et al.*, 2018).

Na banda beta, foi observado que em T5/T6 houve diminuição da coerência após o primeiro dia de ECP. Resultado semelhante foi observado em estudos anteriores, no qual a coerência do córtex temporal diminuiu quando sujeitos executaram tarefas que não necessitavam de controle específico da memória, havendo a necessidade do córtex cerebral acionar outras áreas ou circuitos corticais para as tarefas selecionadas (FORTUNA *et al.*, 2013; FUSTER, 2009). A diminuição da coerência em T5/T6 também indica que houve uma diminuição na conexão funcional entre essas duas áreas (JORGE, 2017).

À medida que o experimento era realizado, identificamos que os córtices frontal e occipital apresentaram diferenças, pois os pares de eletrodos Fp1/Fp2 e O1/O2 expressaram maior acoplamento cortical tanto na LB quanto em todos os dias do experimento. Os resultados também reforçam a ativação do córtex frontal, pois os pares de eletrodos F7/F8, F3/F4 e C3/C4 tiveram maior acoplamento cortical em grande parte do experimento.

Estudos apontam que tarefas de caráter visuomotoras, por exemplo, requerem a adaptação contínua da execução motora baseada no *feedback* visual (PIECZYKOLAN e HUESTEGGE, 2014; HUESTEGGE, 2011). Nessa perspectiva, a coerência da banda beta tem sido associada à preparação para o movimento e percepção visual, representando processos de integração sensório-motora (DINIZ *et al.*, 2012). Considerando que no presente estudo a ECP envolveu atenção e movimento ocular, os achados para banda beta se devem ao fato que essa banda é de alta frequência, de amplitude reduzida, indicativa de atividades mentais e atencionais, e que a ativação de áreas corticais, sobretudo frontais, envolvidas na integração sensório-motora, na atenção e no processamento visual mostra a conexão entre esses processos (DINIZ *et al.*, 2012).

Com base na análise da coerência das bandas alfa e beta descobriu-se que a ECP gerou mudanças no córtex frontal, occipital e temporal. Sabe-se que a função do cérebro humano depende substancialmente da comunicação inter-regional (SOLCÀ, MOTTAZ, e GUGGISBERG, 2016), desta forma inferimos que essas mudanças foram necessárias para melhorar a conexão cortical na execução e controle da convergência ocular.

CONCLUSÃO

Em estudo futuro sugerimos a análise do Ponto Próximo de Acomodação, e em conjunto com o PPC serem reavaliados diariamente. Além disso, reproduzir o estudo em um tempo maior de experimento e com amostra 100% homogênea em termos de dominância ocular ou em dois grupos, sendo um totalmente destro ocular e outro sinistro ocular para distâncias de perto e longe. Pois, é comum que em pesquisas de neurociências, os indivíduos sinistros sejam excluídos dos coortes de estudo, com o intuito de aumentar a homogeneidade dos dados. No entanto, estes participantes representam uma parcela substancial da população e sua inclusão pode ser relevante em estudos de assimetria cerebral (YAMASHITA e SECHI, 2018). Além disso, ressalta-se também a necessidade de aprofundamentos futuros em estudo que analise a lateralidade cruzada ocular em uma população maior.

O presente estudo revelou que a estimulação continuada e orientada do PPC, através de uma régua de convergência e acomodação é uma alternativa útil, de baixo custo e que, portanto representa uma estratégia favorável para o tratamento da IC. Além disso, os dados de assimetria e coerência das bandas alfa e beta em conjunto, revelaram respectivamente, que o hemisfério cerebral esquerdo foi predominante e que o movimento de convergência binocular voluntária gera modificações no acoplamento cortical, especialmente, em áreas frontais e occipitais do córtex.

REFERÊNCIAS

- ADLER, P. RAF near point rule modification. **Ophthalm. Physiol. Opt.**, v.24, p.469–470, 2004.
- ADLER, P. M. *et al.* Influence of target type and RAF rule on the measurement of near point of convergence. **Ophthalmic and Physiological Optics**, v.27, n.1, p.22-30, 2007.
- ALKAN, Y.; BISWAL, B. B.; ALVAREZ, T. L. Differentiation between vergence and saccadic functional activity within the human frontal eye fields and midbrain revealed through fMRI. **PLoS ONE**, v.6, n.11, p.1-14, 2011.
- ALONSO, L. L. M.; BACOT, M. T. D.; RODRÍGUEZ, D. B. T. Insuficiencia de la convergencia asociada a estrabismo en edad adulta. **Revista Cubana de Tecnología de la Salud**, p.117-120, 2010.
- ALVAREZ, T. L. *et al.* Functional activity within the frontal eye fields, posterior parietal cortex, and cerebellar vermis significantly correlates to symmetrical vergence peak velocity: an ROI-based, fMRI study of vergence training. **Frontiers in Integrative Neuroscience**, v.8, n.50, 2014.
- ANGHINAH, R. *et al.* Artefatos biológicos no EEG quantitativo. **Arq Neuropsiquiatr**, v.64, n.2-A, p.264-268, 2006.
- ANGHINAH, R. *et al.* Estudo da coerência do eletroencefalograma na banda de frequência alfa em indivíduos adultos normais. **Arq Neuropsiquiatr**, v.63, n.1, 2005.
- BABILONI, C. *et al.* Resting state cortical rhythms in athletes: A high-resolution EEG study. **Brain Research Bulletin**, v.81, p.149–156, 2009.
- BABINSKY, E.; SREENIVASAN, V.; CANDY, T. R. Vergence adaptation to short-duration stimuli in early childhood. **IOVS**, v.57, n.3, p.920-927, 2016.
- BADARO, A. F. V.; SILVA, A. H.; BECHE, D. Flexibilidade versus alongamento: esclarecendo as diferenças. **Saúde**, v.33, n.1, p.32-36, 2007.
- BAKSHAYESH, H. *et al.* Detecting synchrony in eeg: a comparative study of functional connectivity measures. **Comput Biol Med.**, v.105, p.1-15, 2019.
- BARAVALLE, R.; ROSSO, O. A.; MONTANI, F. Rhythmic activities of the brain: Quantifying the high complexity of beta and gamma oscillations during visuomotor tasks. **Chaos**, v.28, n.075513, p.1-18, 2018.
- BASTOS, V. H. *et al.* Análise da distribuição de potência cortical em função do aprendizado de datilografia. **Rev Bras Med Esporte**, v.10, n.6, 2004.
- BERES, A. M. Time is of the essence: a review of electroencephalography (EEG) and event-related brain potentials (ERPs) in language research. **Appl Psychophysiol Biofeedback**, 2017.
- BICAS, H. E. A. Morphology of the visual system. **Medicina**, n.30, p.7-15, 1997.
- BICAS, H. E. A. Oculomotricidade e seus fundamentos. **Arq Bras Oftalmol**, v.66, p.687-700, 2003.

- BONINI-ROCHA, A. C. *et al.* Methodology to observation and quantification of EEG signs related to cognitive evidences of motor learning. **Ciências e Cognição**, v.13, n.2, p.27-50, 2008.
- BORRIES, G. F. V. *et al.* Identificação de regiões ativadas do cérebro através de EEG de estímulos visuais. **Rev. Bras. Biom**, v.31, n.1, p.28-42, 2013.
- BORSTING, E. *et al.* Improvement in academic behaviors following successful treatment of convergence insufficiency. **Optometry and Vision Science**, v.89, n.1, p.12-18, 2012.
- BARAVALLE, R.; ROSSO, O. A.; MONTANI, F. Rhythmic activities of the brain: Quantifying the high complexity of beta and gamma oscillations during visuomotor tasks. **Chaos**, v.28, 2018.
- BRICOT, B. **Posturologia Clínica**. CIES BRASIL: São Paulo, 2010.
- CAPÓ-APONTE, J. E. *et al.* Validation of visual objective biomarkers for acute concussion. **Military Medicine**, v.183, p.9-17, 2018.
- CARNEIRO, R. R.; CARDOSO, F. B. Estimulação do desenvolvimento de competências funcionais hemisféricas em escolares Com dificuldades de atenção: uma perspectiva neuropsicopedagógica. **Rev. Psicopedagogia**, v.26, n.81, p.458-69, 2009.
- CARROBLES, J. A. Bio/neurofeedback. **Clínica y Salud**, v.27, p.125–131, 2016.
- CONVERGENCE INSUFFICIENCY TREATMENT TRIAL INVESTIGATOR GROUP. The convergence insufficiency treatment trial: design, methods, and baseline data. **Ophthalmic Epidemiol**, v.15, n.1, p.24–36, 2008.
- COOPER, J.; JAMAL, N. Convergence insufficiency: a major review. **Optometry**, v.83, n.4, p.137-158, 2011.
- COOPER, S. A.; O’SULLIVAN, M. Here, there and everywhere: higher visual function and the dorsal visual stream. **Pract Neurol**, p.1–8, 2016.
- COSTA, L. *et al.* Investigation of alpha band of the electroencephalogram before and after a task of proprioceptive neuromuscular facilitation. **Journal of Exercise Rehabilitation**, v.13, n.4, p.418-424, 2017.
- COSTA, M. F. Movimentos oculares no bebê: o que eles nos indicam sobre o status oftalmológico e neurológico. **Psicologia**, v.18, n.2, p.47-61, 2007.
- CRUZ-MARTÍN, A. *et al.* A dedicated circuit linking direction selective retinal ganglion cells to primary visual cortex. **Nature**, v.507, n.7492, p.358–361, 2014.
- CUNHA, T. *et al.* Insuficiência de convergência e atenção visual: estudo exploratório em estudantes do ensino superior. **Saúde & Tecnologia**, p.5-10, 2013.
- DAMASCENO, R. W. F.; CORRÊA, M. A. R. Regeneração aberrante do nervo oculomotor secundária a aneurisma intracraniano: relato de caso. **Arq Bras Oftalmol**, v.71, n.3, p.443-445, 2008.
- DARONCH, C. *et al.* Bailarinas x voleibolistas: efeito de diferentes treinamentos motores sobre o sinal eletroencefalográfico. **Rev Bras Ciênc Esporte**, v.38, n.4, p.384-391, 2016.
- DAMIANI, D.; NASCIMENTO, A. M.; PEREIRA, L. K. Cortical brain functions – the brodmann legacy in the 21st century. **Arq Bras Neuroc**, 2017.

- DELORME, A.; MAKEIG, S. Eeglab: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. **Journal of Neuroscience Methods**, v.134, p.9–21, 2004.
- DINIZ, C. *et al.* Cognitive mechanisms and motor control during a saccadic eye movement task: evidence from quantitative electroencephalography. **Arq Neuropsiquiatr**, v.70, n.7, p.506-513, 2012.
- DUPREY, K. M. *et al.* Convergence insufficiency identifies athletes at risk of prolonged recovery from sport-related concussion. **The American Journal of Sports Medicine**, p.1-6, 2017.
- ECARD, L. *et al.* Os efeitos da estimulação elétrica funcional na assimetria cortical inter-hemisférica. **Arq Neuropsiquiatr**, v.65, n.3, p.642-646, 2007.
- EGHRARI, A. O.; RIAZUDDIN, S. A.; GOTTSCH, J. D. Overview of the cornea: structure, function, and development. **Prog Mol Biol Transl Sci.**, v.134, p.7-23, 2015.
- FARLEY, A. *et al.* Nervous system: part 1. **Nurs Stand**, v.28, n.31, p.46-51, 2014.
- FERREIRA, C. *et al.* The relation between eeg prefrontal asymmetry and subjective feelings of mood following 24 hours of sleep deprivation. **Arq Neuropsiquiatr**, v.64, n.2-B, p.382-387, 2006.
- FESTANTE, F. *et al.* EEG beta desynchronization during hand goal-directed action observation in newborn monkeys and its relation to the emergence of hand motor skills. **Developmental Cognitive Neuroscience**, v.30, p.142–149, 2018.
- FISCHL, B.; DALE, A. M. Measuring the thickness of the human cerebral cortex from magnetic resonance images. **PNAS**, v.97, n.20, p.11050 –11055, 2000.
- FLORES, L. P. Occipital lobe morphological anatomy. Anatomical and surgical aspects. **Arq Neuropsiquiatr**, v.60, n.3, p.566-571, 2002.
- FONSECA, L. C. *et al.* Eletroencefalograma quantitativo em escolares sadios. Análise de frequências. **Arq Neuropsiquiatr**, v.61, n.3, p.796-801, 2003.
- FORTUNA, M. *et al.* Cortical reorganization after hand immobilization: the beta qeeg spectral coherence evidences. **PLOS ONE**, v.8, n.11, 2013.
- FUSTER, J. M. Cortex and memory: emergence of a new paradigm. **J Cog Neurosci.**, v.21, p.2047–2072, 2009.
- FTAITI, F. *et al.* Changes in EEG activity before and after exhaustive exercise in sedentary women in neutral and hot environments. **Applied Ergonomics**, v.41, p.806–811, 2010.
- GHADBAN, R. *et al.* The incidence and clinical characteristics of adult-onset convergence insufficiency. **Ophthalmology**, v.122, n.5, p.1056–1059, 2015.
- GIMÉNEZ-AMAYA, J. M. Anatomía funcional de la corteza cerebral implicada em los procesos visuales. **Rev Neurol**, v.30, n.7, p.656-662, 2000.
- GONÇALVES, V. P.; SCHARLACH, R. C. Oculomotor evaluation in adults: a study of the effect of age and visual alterations. **Audiol Commun Res.**, v.21, p.1-7, 2016.
- GRANET, D. B. *et al.* The relationship between convergence insufficiency and ADHD. **Strabismus**, v.13, p.163–168, 2005.

- GRAZIANO, R. M.; LEONE, C. R. Problemas oftalmológicos mais frequentes e desenvolvimento visual do pré-termo extremo. **Jornal de Pediatria**, v.81, n.1, p.95-100, 2005.
- GREMMLER, S.; LAPPE, M. Saccadic suppression during voluntary versus reactive saccades. **Journal of Vision**, v.17, n.8, p.1–10, 2017.
- GROSSNIKLAUS, H. E. *et al.* Anatomic alterations in aging and age-related diseases of the eye. **Invest Ophthalmol Vis Sci**, v.54, n.14, 2013.
- GUTIÉRREZ, O. L. **Ortóptica**. La Habana: Editorial Ciencias Médicas, 2006.
- HAAK, K. V.; BECKMANN, C. F. Objective analysis of the topological organization of the human cortical visual connectome suggests three visual pathways. **Cortex**, p.1-11, 2017.
- HAMMOND, D. C. Temporal lobes and their importance in neurofeedback. **Journal of Neurotherapy**, v.9, n.1, 2005.
- HAN, D. Development of a brain index for dementia diagnosis using quantitative eeg analysis. **J. Phys. Ther. Sci**, v.25, p.497–500, 2013.
- HARRER, M. *et al.* Effectiveness of an internet- and app-based intervention for college students with elevated stress: randomized controlled trial. **J Med Internet Res.**, v.20, n.4, 2018.
- HASSAN, L. I. *et al.* Prevalence of convergence insufficiency among secondary school students in Khartoum, Sudan. **Oman J Ophthalmol**, v.11, n.2, p.129–133, 2018.
- HAYES, G. J. *et al.* Normative values for the nearpoint of convergence of elementary schoolchildren. **Optometry and Vision Science**, v.75, n.7, 1998.
- HELENE, O; HELENE, A. F. Alguns aspectos da óptica do olho humano. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.33, n.3, p.3312, 2011.
- HERCULANO-HOUZEL, S. The human brain in numbers: a linearly scaled-up primate brain. **Frontiers in Human Neuroscience**, v.3, n.31, p.1–11, 2009.
- HOPKINS, W. G. *et al.* Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. **Med Sci Sports Exerc**, v. 1, p.3-13, 2009.
- HORWOOD, A. M.; TOOR, S.; RIDDELL, P. M. Screening for convergence insufficiency using the CISS is not indicated in young adults. **Br J Ophthalmol**, v.98, p.679–683, 2014.
- HUESTEGGE, L. The role of saccades in multitasking: towards an output-related view of eye movements. **Psychological Research**, v.75, p.452–465, 2011.
- ISMAIL, F. Y.; FATEMI, A.; JOHNSTON, M. V. Cerebral plasticity: windows of opportunity in the developing brain. **European Journal of Paediatric Neurology**, v.21, p.23-48, 2017.
- JANG, J. U. *et al.* Effectiveness of vision therapy in school children with symptomatic convergence insufficiency. **J Ophthalmic Vis Res**, v.12, n.2, p.187-192, 2017.
- JANG, J. U.; PARK, I. J.; JANG, J. Y. The distribution of near point of convergence, near horizontal heterophoria, and near vergence among myopic children in South Korea. **Taiwan Journal of Ophthalmology**, p.1-6, 2016.

- JASPER, H. The ten-twenty electrode system of the international federation. **EEG Clin Neurophysiol**, v.10, p.371-375, 1958.
- JEANROT, N.; JEANROT, F. **Manual de Estrabologia Prática – aspectos clínicos y terapéuticos**. Barcelona: Masson, S. A., 1996.
- JORGE, M. S. *et al.* Alpha band EEG coherence in healthy nonagenarians. **Arq Neuropsiquiatr**, v.75, n.9, p.609-613, 2017.
- KANDA, P. A. M. The clinical use of quantitative EEG in cognitive disorders. **Dementia & Neuropsychologia**, v.3, n.3, p.195-203, 2009.
- KANDEL, E. R. *et al.* **Princípios de Neurociências**. 5 ed. Nova Iorque: Mc Graw Hill, 2014.
- KAPOULA, Z. *et al.* Eeg cortical potentials preceding vergence and combined saccade-vergence eye movements. **Neuroreport**, v.13, n.15, 2002.
- KAPOULA, Z. *et al.* Role of the posterior parietal cortex in the initiation of saccades and vergence: right/left functional asymmetry. **Ann. N.Y. Acad. Sci.**, v.1039, p.184–197, 2005.
- KASTNER, S.; UNGERLEIDER, L. G. Mechanisms of visual attention in the human cortex. **Annu. Rev. Neurosci**, v.23, p.315–341, 2000.
- KELMANN, G.; BERNARDO, W. M. O eletroencefalograma com mapeamento cerebral é superior ao eletroencefalograma tradicional no diagnóstico de patologias neurológicas? **Rev Assoc Med Bras**, v.58, n.1, p.10, 2012.
- KLIMESCH, W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. **Brain Research Reviews**, v.29, p.169–195, 1999.
- KLIMESCH W.; FELLINGER R.; FREUNBERGER R. Alpha oscillations and early stages of visual encoding. **Frontiers in Psychology**, v.2, n.118, 2011.
- KLEINER, A. F. Z; SCHLITTLER, D. X. C; SÁNCHEZ-ARIAS, M. D. R. The role of visual, vestibular, somatosensory and auditory systems for the postural control. **Rev Neurocienc**, v.19, n.2, p.349-357, 2011.
- KLEINER, A. L.; SCHLITTLER, P.; SÁNCHEZ-ARIAS, L. A.V. Vision measurement and psychophysical tests. **Arq Bras Oftalmol**, v.71, n. 1, p.122-127, 2008.
- KOBAYASHI, K. *et al.* Significance of high-frequency electrical brain activity. **Acta Med. Okayama**, v.71, n.3, p.191-200, 2017.
- KOVALENKO, L. Y.; BUSCH, N. A. Probing the dynamics of perisaccadic vision with EEG. **Neuropsychologia**, p.1-12, 2015.
- KRAVITZ, D. J. *et al.* A new neural framework for visuospatial processing. **Neuroscience**, v.12, p.217-230, 2011.
- KRONBAUER, A. L.; SCHO, P.; CARVALHO, L. A. V. Medida da visão e testes psicofísicos. **Arq Bras Oftalmol**, v.71, n.1, p.122-127, 2008.
- LACKO, D. *et al.* Ergonomic design of an EEG headset using 3D anthropometry. **Applied Ergonomics**, v.58, p.128-136, 2017.

- LEE, J. Y.; CHOI, J. S.; KWON, J. S. Neurophysiological mechanisms of resilience as a protective factor in patients with internet gaming disorder: a resting-state eeg coherence study. **J Clin Med.**, v.8, n.1, p.1-14, 2019.
- LEE, S. A., LEE, S. H., JUNG, B. K. Analysis of cortical activation during three types of therapeutic activity. **J. Phys. Ther. Sci**, v.27, p.1219–1222, 2015.
- LEDBETTER, C.; MOORE, A. L.; MITCHELL, T. Cognitive effects of ThinkRx cognitive rehabilitation training for eleven soldiers with brain injury: a retrospective chart review. **Frontiers in Psychology**, v.8, n.825, p.1-10, 2017.
- LEI, X.; LIAO, K. Understanding the Influences of EEG reference: a large-scale brain network perspective. **Frontiers in Neuroscience**, v.11, n.205, p.1-11, 2017.
- LEIGH, R. J.; ZEE, D. S. **The neurology of eye movements**. 5th ed. Oxford: Oxford University Press, 2015.
- LEIWE, M. N. *et al.* Geniculo-cortical projection diversity revealed within the mouse visual thalamus. **PLOS ONE**, v.11, n.1, p.1-11, 2016.
- LIVERSEDGE, S.; GILCHRIST, I.; EVERLING, S. **The Oxford Handbook of Eye Movements**. New York: Oxford University Press, 2011.
- LUIZ, L. C. *et al.* Association between visual deficit and clinical-functional characteristics among community-dwelling older adults. **Rev Bras Fisioter**, v.13, n.5, p.444-50, 2009.
- LUFT, C.; ANDRADE, A. A pesquisa com EEG aplicada à área de aprendizagem motora. **Rev Port Cien Desp**, v.6, n.1, p.106–115, 2006.
- MA, M. M. *et al.* Convergence insufficiency in chinese high school students. **Clinical and Experimental Optometry**, p.1-6, 2018.
- MACEDO, E. C. *et al.* Análise dos padrões dos movimentos oculares em tarefas de busca visual: efeito da familiaridade e das características físicas do estímulo. **Arq Bras Oftalmol**, v.70, n.1, p.31-6, 2007a.
- MACEDO, E. C. *et al.* Processos perceptuais e cognitivos na leitura de palavras: propriedades dos movimentos oculares. **Psicologia Escolar e Educacional**, v.11, n.2, p.275-283, 2007b.
- MACHADO, A.; HAERTEL, L. M. **Neuroanatomia funcional**. 3 ed. São Paulo: Atheneu, 2013.
- MACHADO, S. *et al.* Changes in quantitative eeg absolute power during the task of catching an object in free fall. **Arq Neuropsiquiatr**, v.65, n.3, p.633-636, 2007.
- MANUEL, A. L. *et al.* Resting-state connectivity predicts visuo-motor skill learning. **NeuroImage**, v.176, p. 446–453, 2018.
- MARCHESIN, V. C.; CAOVILO, H. H.; GANANÇA, M. M. Dos movimentos oculares sacádicos em crianças com desordens do processamento auditivo. **ACTA ORL**, p.7-12, 2005.
- MARQUES JUNIOR, N. K. Conteúdo básico para estruturar o treino da visão periférica no futebol de salão. **Movimento & Percepção**, v.9, n.13, 2008.
- MAZZARINO, M. J.; FALKENBACH, A.; RISSI, S. Acessibilidade e inclusão de uma aluna com deficiência visual na escola e na educação física. **Rev. Bras. Ciênc. Esporte**, v.33, n.1, p.87-102, 2011.

- MCGREGOR, M. L. Convergence insufficiency and vision therapy. **Pediatr Clin N Am**, v.61, p.621–630, 2014.
- MESSIAS, A.; JORGE, R.; VELASCO E CRUZ, A. A. Logarithmic visual acuity charts: reasons to use and how to design it. **Arq Bras Oftalmol.** v.73, n.1, p.96-100, 2010.
- MOLINA, N. P.; MORA, C. F. Insuficiencia de convergência. **Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular**, v.8, n.2, p.91-102, 2010.
- MOMENI-MOGHADDAM, H. *et al.* The effectiveness of home-based pencil push-up therapy versus office-based therapy for the treatment of symptomatic convergence insufficiency in young adults. **Middle East Afr J Ophthalmol.**, v.22, n.1, p.97–102, 2015.
- MORAES, H. *et al.* Beta and alpha electroencephalographic activity changes after acute exercise. **Arq Neuropsiquiatr**, v.65, p.637-641, 2007.
- MOREIRA NETO, C. A.; MOREIRA, A. T. R.; MOREIRA, L. B. Visual acuity evaluation in children of the elementary school of curitiba. **Rev Bras Oftalmol.**, v.73, n.4, p.216-219, 2014.
- MORIZE, A. *et al.* Effects of pure vergence training on initiation and binocular coordination of saccades. **IOVS**, v.58, n.1, p.329-342, 2017.
- MOTTAZ, A. *et al.* Neurofeedback training of alpha-band coherence enhances motor performance. **Clinical Neurophysiology**, p.1-7, 2014.
- MURPHY, A. P. *et al.* Lesions to right posterior parietal cortex impair visual depth perception from disparity but not motion cues. **Phil. Trans. R. Soc.**, 2016.
- NEHAD, T.; SALEM, T.; ELMOHAMADY, M. N. Combined office-based vergence therapy and home therapy system for convergence insufficiency in egyptian children. **The Open Ophthalmology Journal**, v.12, p.12-18, 2018.
- NIKOLAEV, A. R.; MEGHANATHAN, R. N.; VAN LEEUWEN, C. Combining eeg and eye movement recording in free viewing: pitfalls and possibilities. **Brain and Cognition**, v.107, p.55–83, 2016.
- NITYANANDA, V.; READ, J. C. A. Stereopsis in animals: evolution, function and mechanisms. **Journal of Experimental Biology**, v.220, n.14, p.2502–2512, 2017.
- NUNES, A. F. *et al.* Convergence insufficiency and accommodative insufficiency in children. **BMC Ophthalmol.**, v.19, n.58, p.1-8, 2019.
- NUNES, R. R.; ALMEIDA, M. P.; SLEIGH, J. W. Spectral entropy: a new method for anesthetic adequacy. **Rev Bras Anesthesiol**, v.54, n.3, p.404–422, 2004.
- OLDFIELD, R. The assessment and analysis of handedness: The edinburg inventory. **Neuropsychologia**, v.9, p.97-113, 1971.
- OLIVEIRA, R. S. *et al.* Avaliação da acuidade visual em escolares no município de Herval d'Oeste, Santa Catarina, Brasil. **Rev Bras Med Fam Comunidade**, v.8, n.28, p.180-186, 2013.
- O'REGAN, L.; SERRIEN, D. J. Individual differences and hemispheric asymmetries for language and spatial attention. **Front Hum Neurosci.**, v.12, 2018.

- O'REILLY, M. A. *et al.* Frontal eeg asymmetry and later behavior vulnerability in infants with congenital visual impairment. **Clinical Neurophysiology**, v.128, p.2191–2199, 2017.
- ORTEGA-LEONARD, L. *et al.* The role of the corpus callosum in the visuospatial processing. **Rev. Chil. Neuropsicol**, v.10, n.1, p.25-30, 2015.
- OVENSERI-OGBOMO, G. O.; EGUEGU, O. P. Vergence findings and horizontal vergence dysfunction among first year university students in Benin city, Nigeria. **Journal of Optometry**, v.9, p.258-263, 2016.
- PAOLOZZA, A. *et al.* Altered accuracy of saccadic eye movements in children with fetal alcohol spectrum disorder. **Alcoholism: Clinical and Experimental Research**, v.37, n.9, p.1491-8, 2013.
- PAULUCIO, D. *et al.* Acute effect of ethanol and taurine on frontal cortex absolute beta power before and after exercise. **PLoS ONE**, v.13, n.3, p.1-16, 2018.
- PAZ, C. C. S. C. *et al.* A influência aguda da prática mental sobre as oscilações corticais delta – um estudo piloto. **Rev. Bras. Eng. Biom.**, v. 28, n. 4, p. 375-386, 2012.
- PEREIRA, J. R.; REIS, A. M.; MAGALHÃES, Z. Neuroanatomia funcional. Anatomia das áreas activáveis nos usuais paradigmas em ressonância magnética funcional. **Acta Médica Portuguesa**, n.16, p.107-116, 2003.
- PEREIRA, S. A. M. A relação entre lateralidade e flexibilidade. **R. Min. Educ. Fís.**, v.12, n.1, p.101-112, 2004.
- PIOVESAN, E. J. *et al.* Structural and functional analyses of the occipital cortex in visual impaired patients with visual loss before 14 years old. **Arq Neuropsiquiatr**, v.60, n.4, p.949-953, 2002.
- PIECZYKOLAN, A.; HUESTEGGE, L. Oculomotor dominance in multitasking: mechanisms of conflict resolution in cross-modal action. **Journal of Vision**, v.14, n.1, p. 1–17, 2014.
- POLTAVSKI, D.; LEDERER, P.; COX, L. K. Visually evoked potential markers of concussion history in patients with convergence insufficiency. **Optometry and Vision Science**, v. 94, n.7, p.1-9, 2017.
- PORTELLA, C. E. *et al.* Aprendizagem de procedimentos e efeitos ansiolíticos. Medidas eletrencefalográficas, motora e atencional. **Arq Neuropsiquiatr**, v.64, n.2, p.478-484, 2006.
- PRASAD, S.; GALETTA, S. L. Anatomy and physiology of the afferent visual system. **Handbook of Clinical Neurology**, v.102, p.3-19, 2011
- PROVERBIO, A. M.; ADORNI, R., D'ANIELLO, G. E. 250 ms to code for action affordance during observation of manipulable objects. **Neuropsychologia**, v.49, n.9, p.2711–2717, 2011.
- PROVERBIO, A. M.; ADORNI, R., D'ANIELLO, G. E. Is there a left hemispheric asymmetry for tool affordance processing? **Neuropsychologia**, v.51, n.13, p.2690–2701, 2013.
- PROVIS, J. M. *et al.* Adaptation of the central retina for high acuity vision: cones, the fovea and the avascular zone. **Prog Retin Eye Res**, v.35, p.63–81, 2013.

- QUEIROZ, J. M.; QUEIROZ JUNIOR J. M.; QUEIROZ, F. J. C. Degeneração macular relacionada à idade: considerações histopatológicas. **Rev Bras Oftalmol.**, v.69, n.6, p.400-406, 2010.
- RIORDAN-EVA, P.; AUGSBURGER, J. J. **Vaughan & Asbury's General Ophthalmology**, 19th Ed. New York: McGraw-Hill Education, 2017.
- RIBEIRO, G. B. *et al.* Ophthalmologic screening of children of public schools in Belo Horizonte/MG: an overview about the visual impairment in children. **Rev Bras Oftalmol**, v.74, n.5, p.288-91, 2015.
- RIZK, S. *et al.* Network mechanisms of responsiveness to continuous theta-burst stimulation. **Eur J Neurosci**, v.38, p.3230–3238, 2013.
- ROUSE, M. W. *et al.* Validity and reliability of the revised convergence insufficiency symptom survey in adults. **Ophthalm. Physiol. Opt.**, v.24, p.384–390, 2004.
- SAI, C. Y. *et al.* Automated Classification and Removal of EEG artifacts with svm and wavelet-ICA. **IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics**, p.1-17, 2017.
- SALES, R.; COLAFÊMINA, J. F. The influence of eye movement and the vestibuloocular reflex in reading and writing. **Rev. CEFAC.**, v.16, n.6, p.1791-1797, 2014.
- SANEI, S.; CHAMBERS, J. A. **Egg Signal Processing**. John Wiley & Sons, 2007.
- SAVOIE, F. A. *et al.* Visuomotor prediction errors modulate eeg activity over parietal cortex. **Scientific Reports**, v.8, n.12513, 2018.
- SCHEPERJANS, F. *et al.* Transmitter receptors reveal segregation of cortical areas in the human superior parietal cortex: Relations to visual and somatosensory regions. **NeuroImage**, n.28, p. 362–379, 2005.
- SECIN, V. K. A. V. **A visão binocular dos guarani mbya**. Curitiba: Appris, 2016.
- SERRA, A.; CHEN, A. L.; LEIGH, R. J. Disorders of vergence eye movements. **Current Opinion in Neurology**, v.24, p.32–37, 2011.
- SERRIEN, D. J.; SOVIJÄRVI-SPAPE, M. M. Hemispheric asymmetries and the control of motor sequences. **Behav. Brain Res.**, v.283, p.30–36, 2015.
- SIDEROV, J.; CHIU, S. C.; WAUGH, S. J. Differences in the nearpoint of convergence with target type. **Ophthalm. Physiol. Opt.**, v.21, n.5, p.356–360, 2001.
- SILVA, A. A. S.; TRINDADE FILHO, E. M. Diferenças no processamento cerebral, através do ritmo gama, durante o pensamento divergente. **Rev Neurocienc**, v.23, n.4, p.589-594, 2015.
- SILVA, R. S. Introdução ao estagiamento do sono humano. **Brazilian Journal of Epilepsy and Clinical Neurophysiology**, v.2, n.3, p.187-199, 1996.
- SILVA; T. R.; DIAS, F. A. M. Laterality of activity of medial olivocochlear efferent system: preliminary study. **Rev. CEFAC**, v.17, n.6, p.1855-1862, 2015.
- SCHMIDT, A. Biosignals in human-computer interaction. **ACM Interactions**, v.23, n.1, p.76-79, 2016.

- SOLCÀ, M.; MOTTAZ, A.; GUGGISBERG, A. G. Binaural beats increase interhemispheric alpha-band coherence between auditory cortices. **Hearing Research**, p. 233–237, 2016.
- TAVARES, C. *et al.* Translation and validation of convergence insufficiency symptom survey (CISS) to portuguese - psychometric results. **Arq Bras Oftalmol**, v.77, n.1, p.21-4, 2014.
- TEIXEIRA, S. *et al.* Gamma-band oscillations in fronto-central areas during performance of a sensorimotor integration task: a qEEG coherence study. **Neuroscience Letters**, v.483, p.114–117, 2010.
- THAKOR, N. V.; TONG, S. Advances in quantitative electroencephalogram analysis methods. **Annu. Rev. Biomed. Eng.**, v. 6, p. 453–95, 2004.
- TOSSATO, C. R. A função do olho humano na óptica do final do século XVI. **Scientia e Studia**, v. 3, n. 3, p. 415-441, 2005.
- TRIEU, L. H.; LAVRICH, J. B. Current concepts in convergence insufficiency. *Curr Opin Ophthalmol*, v.29, n.5, p.401-406, 2018.
- TUMA, V. C. *et al.* Oculomotor evaluation in patients with peripheral vestibular dysfunction. **Rev Bras Otorrinolaringol**, v. 72, n. 3, p. 407-13, 2006.
- VALVERDE, C. N. L. *et al.* Prevalence of detection of visual impairment and treatment in the age group 4 to 7 years. **Rev Bras Oftalmol.**, v. 75, n. 4, p. 286-289, 2016.
- VAN DER STEEN, J.; DITS, J. Binocular eye movement control and motion perception: what is being tracked? **Investigative Ophthalmology & Visual Science**, v.53, n. 11, p.7268–75, 2012.
- VAN OMBERGEN, A. *et al.* Spaceflight-induced neuroplasticity in humans as measured by MRI: what do we know so far? **NPJ Microgravity**, v.3, n.2, p.1-12, 2017.
- VASCONCELOS-RAPOSO, J. *et al.* The position of the target in the influence of eye movement on navigational and informative research tasks. **PsychTech & Health**, v.1, n.1, p. 14 – 20, 2017.
- VERGEER, M. *et al.* EEG frequency tagging reveals higher order intermodulation components as neural markers of learned holistic shape representations. **Vision Research**, p. 1-10, 2018.
- VENTURA, L.; CASTRO NETO, J. C. Ametropias Oculares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.17, n.4, p.305-3016, 1995.
- VINUELA-NAVARRO, V. *et al.* Saccades and fixations in children with delayed reading skills. **Ophthalmic & Physiological Optics**, v.37, p.531–541, 2017.
- VIŠNJIC, A. *et al.* Relationship between the manner of mobile phone use and depression, anxiety, and stress in university students. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v.15, n.697, p. 1-11, 2018.
- VON NOORDEN, G. K.; CAMPOS, E. C. **Binocular vision and ocular motility – theory and management of strabismus**. 6th ed. St. Louis: Mosby, 2002.
- WATANABE, M. [Brodmann areas 8 and 9 including the frontal eye field]. **Brain Nerve**, v.69, n.4, p.347-354, 2017.
- WEBSTER, J. G. **Medical Instrumentation: application and design**. 4 ed. Wesley: 2010.

WESTHEIMER, G. The law of equal innervation of both eyes: Thomas Reid preceded Hering by a century. an historical note. **Vision Research**, v.101, p.33-34, 2014.

WOJTCZAK-KWAŚNIEWSKA, M.; PRZEKORACKA-KRAWCZYK, A.; VAN DER LUBBE, R. H. J. The engagement of cortical areas preceding exogenous vergence eye movements. **PLoS ONE**, v.13, n.6, p.1-27, 2018.

WOMELSDORF, T.; FRIES, P. Neuronal coherence during selective attentional processing and sensory–motor integration. **Journal of Physiology**, v.100, p.182–193, 2006.

WORLEY, M. W. *et al.* Eye dominance and Hering’s law effect on bilateral blepharotaxis repair. **Ophthal Plast Reconstr Surg**, v.29, n. 6, p.437- 439, 2013.

YAMASHITA, H.; SECHI, A. [Right-versus left-handedness in behavioral and cognitive neuroscience]. **Brain Nerve.**, v.70, n.10, p.1093-1102, 2018.

YUVARAJ, R. *et al.* On the analysis of EEG power, frequency and asymmetry in Parkinson’s disease during emotion processing. **Behavioral and Brain Functions**, v.10, n.12, p.1-19, 2014.

ZEBENDE, G. F.; OLIVEIRA FILHO, F. M.; CRUZ, J. A. L. Auto-correlation in the motor/imaginary human EEG signals: A vision about the FDFA fluctuations. **PLoS ONE**, v.12, n.9, p.1-13, 2017.

ZHELEZNYAK, L. *et al.* The role of sensory ocular dominance on through-focus visual performance in monovision presbyopia corrections. **Journal of Vision**, v.15, n.6, p.1–12, 2015.

ZILLI, F.; LIMA, E. C. B. A.; KOHLER, M. C. Neuroplasticity in the rehabilitation of patients affected by spastic stroke. **Rev Ter Ocup**, v.25, n.3, p.317-322, 2014.

APÊNDICE A
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA
TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO - TCLE

Você está sendo convidado(a) a participar do projeto “(A INSUFICIÊNCIA DE CONVERGÊNCIA OCULAR EM JOVENS UNIVERSITÁRIOS: UMA INVESTIGAÇÃO DA ATIVIDADE CORTICAL ATRAVÉS DO ELETROENCEFALOGRAMA)”, para a qual foi escolhido por apresentar o Ponto Próximo de Convergência igual ou superior a 10 cm e ter entre 18 e 24 anos; a sua participação não é obrigatória. Você também pode desistir de participar a qualquer momento e retirar seu consentimento. Sua recusa não trará nenhum prejuízo em sua relação com o pesquisador ou com a Universidade Federal do Piauí (UFPI). O objetivo deste estudo é: Investigar a atividade cortical de jovens universitários de 18 a 24 anos de idade com ICO por meio da EEG. O horário será combinado, de modo que não prejudique nenhuma das partes envolvidas. Traremos todo o material necessário.

A sua participação neste projeto consistirá em: ser avaliado em relação ao Ponto Próximo de Convergência que será medido com auxílio da Régua de PPC. **Você necessitará comparecer ao Laboratório de Mapeamento Cerebral e Funcionalidade do Campus de Parnaíba da UFPI, uma vez/dia durante 5 dias consecutivos, 7 dias após e 14 após o último dia treinamento, onde será realizado a medição do PPC, bem como participará do experimento.**

Os riscos relacionados com a sua participação são a presença de fadiga ocular, desconforto, lacrimejamento, vermelhidão ocular, cefaleia e vertigem durante as atividades, porém estes, não causarão danos e tendem a desaparecer em um curto espaço de tempo, já que você é uma pessoa saudável e a realização dos treinamentos será acompanhada por dois pesquisadores treinados para tal. Os benefícios relacionados com a sua participação são melhora visual (**devido melhora da Convergência Ocular**) e sociais (**convivência com pesquisadores**), já que serão realizados em um ambiente social e o contato com o terapeuta será próximo.

As informações obtidas através dessa pesquisa poderão ser divulgadas em encontros científicos como congressos, ou em revistas científicas, mas não possibilitarão sua identificação. Desta forma, garantimos o sigilo total da sua participação. Além disso, você receberá uma cópia deste termo onde constam o telefone e o endereço **dos pesquisadores principais**, podendo tirar suas dúvidas sobre o projeto e sua participação, agora ou a qualquer momento.

Comitê de Ética em Pesquisa da UFPI/CMRV (Telefone:86-3323.5251/Endereço: Av. São Sebastião, 2819 – Bloco 16 – Sala 05/ Email: cep.ufpi.cmr@gmail.com).

VICTOR HUGO DO VALE BASTO
 Professor Adjunto I – Departamento de
 Fisioterapia UFPI – Parnaíba - PI

ALZIRA Mª DE ANDRADE ARAÚJO
 R. 10 Q. 12 C.08
 Bairro Rodoviária - Parnaíba

LUAN CORREIA COSTA
 R. Ceará, nº788
 Bairro: Ceará

Demais pesquisadores

Declaro estar ciente do inteiro teor deste TERMO DE CONSENTIMENTO e estou de acordo em participar do estudo proposto, sabendo que dele poderei desistir a qualquer momento, sem sofrer qualquer punição ou constrangimento.

Nome do participante:

Assinatura do participante:

APÊNDICE B
Representação da Régua Centimétrica com Adaptação para PPC

Foto I

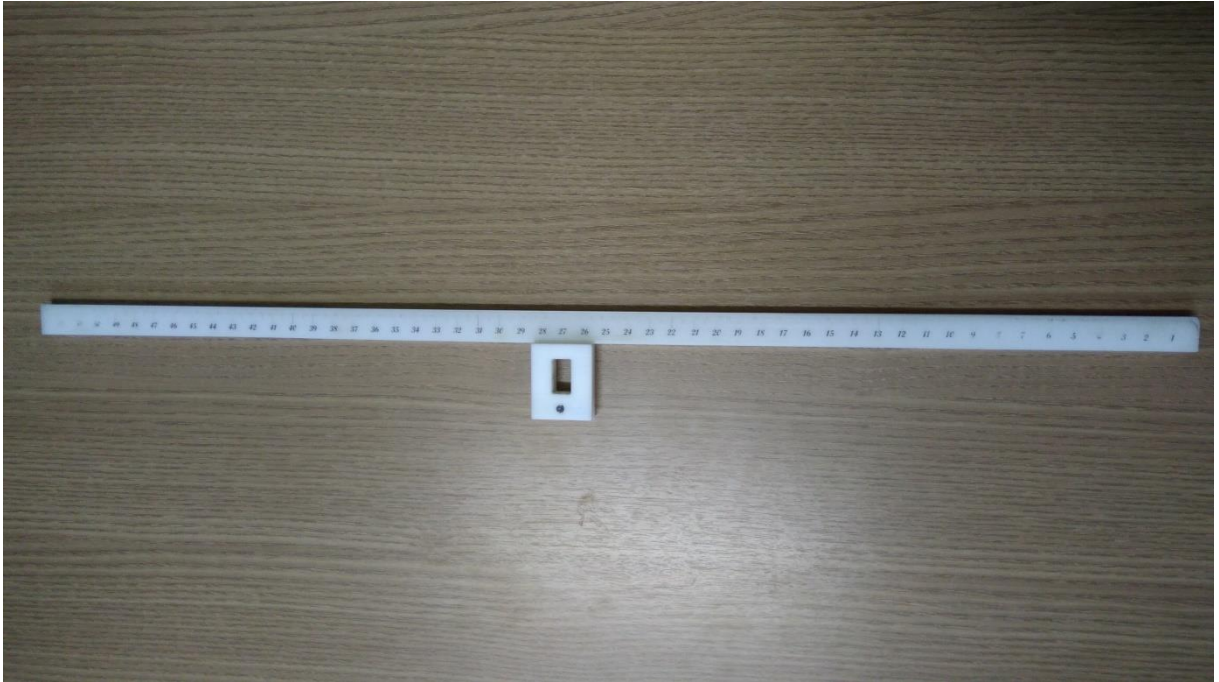
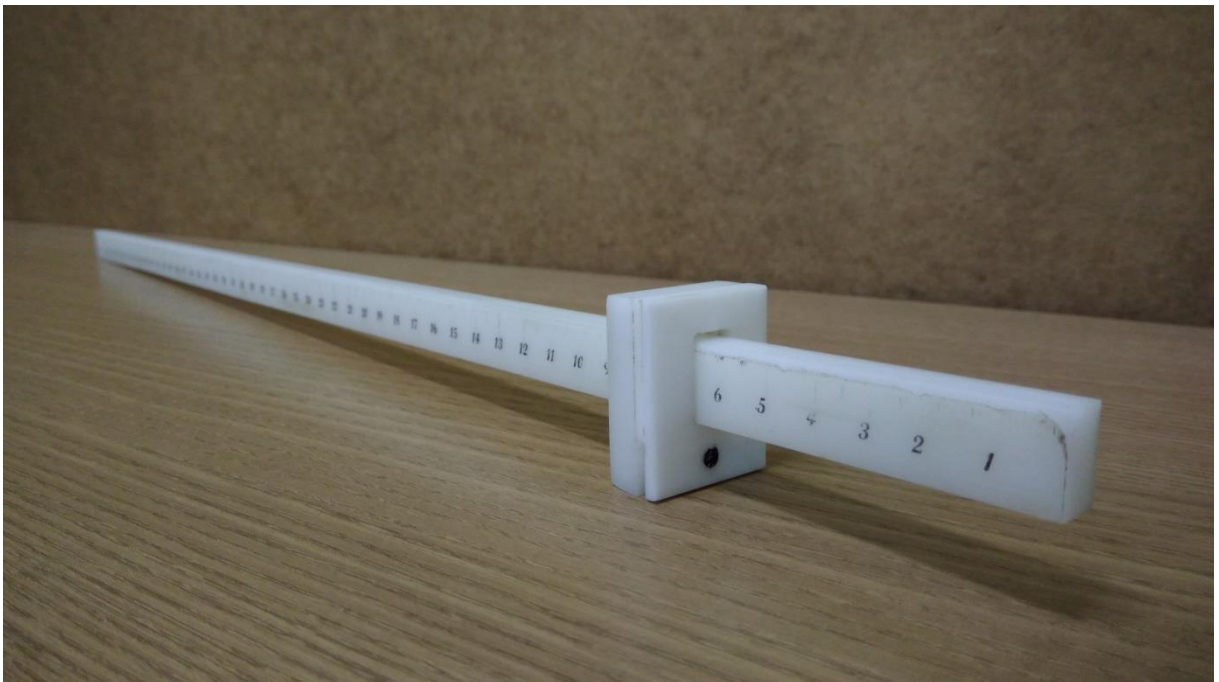


Foto II



ANEXO I
INVENTÁRIO DE DOMINÂNCIA LATERAL DE EDINBURGH

Nome: _____ Data: _____ Resultado: _____ ().

| PERGUNTAS | E | D |
|---|---|---|
| PRIMEIRA PARTE | | |
| Que mão você usa: | | |
| 1 - Para lançar? | | |
| 2 - Para escrever? | | |
| 3 - Para desenhar? | | |
| 4 - Para jogar tênis ou pingue-pongue? | | |
| 5 - Para usar a tesoura? | | |
| 6 - Para usar o barbeador ou passar batom? | | |
| 7 - Para se pentear? | | |
| 8 - Para escovar os dentes? | | |
| 9 - Para usar uma faca sem ser para comer (cortar um barbante, apontar um lápis)? | | |
| 10 - Para comer com uma colher? | | |
| 11 - Para martelar? | | |
| 12 - Para usar a chave de fenda? | | |
| SEGUNDA PARTE | | |
| 13 - Com que mão você segura uma faca para comer ao mesmo tempo que o garfo? | | |
| 14 - Se você tiver duas malas, com que mão segura a mais pesada? | | |
| 15 - Ao varrer, qual a mão que fica por cima, no cabo da vassoura? | | |
| 16 - E no cabo do ancinho? | | |
| 17 - Que mão você usa para desenroscar a tampa de um frasco? | | |
| 18 - Com que mão você segura o fósforo para acendê-lo? | | |
| 19 - Com que mão você distribui as cartas do baralho? | | |
| 20 - Com que mão você segura a linha para enfiar no buraco da agulha? | | |
| TERCEIRA PARTE | | |
| 21 - Com qual pé você prefere chutar? | | |
| 22 - Que olho você usa quando precisa usar apenas um dos olhos? | | |
| TOTAL | | |

ANEXO II

Convergence Insufficiency Symptom Survey - versão portuguesa

QUESTIONÁRIO RELATIVO A SINTOMAS DE INSUFICIÊNCIA DE CONVERGÊNCIA

Nome _____

Data __/__/__

| | | Nunca | Com pouca frequência | Às vezes | Com muita frequência | Sempre |
|-----|--|--------|----------------------|----------|----------------------|--------|
| 1. | Sente os olhos cansados quando lê ou executa tarefas em visão próxima? | | | | | |
| 2. | Sente desconforto ocular quando lê ou executa tarefas em visão próxima? | | | | | |
| 3. | Sente dores de cabeça quando lê ou executa tarefas em visão próxima? | | | | | |
| 4. | Sente-se sonolento quando lê ou executa tarefas em visão próxima? | | | | | |
| 5. | Perde a concentração quando lê ou executa tarefas em visão próxima? | | | | | |
| 6. | Sente dificuldade em lembrar-se do que leu? | | | | | |
| 7. | Tem visão dupla quando lê ou realiza tarefas em visão próxima? | | | | | |
| 8. | Vê as palavras a moverem-se, saltarem, nadar ou a parecer que flutuam na página quando lê ou executa tarefas em visão próxima? | | | | | |
| 9. | Sente que lê devagar? | | | | | |
| 10. | Os seus olhos doem quando lê ou executa tarefas em visão próxima? | | | | | |
| 11. | Sente os olhos inflamados quando lê ou executa tarefas em visão próxima? | | | | | |
| 12. | Tem a sensação de tensão à volta dos olhos quando lê ou executa tarefas em visão próxima? | | | | | |
| 13. | Repara se as palavras focam e desfocam quando lê ou executa tarefas em visão próxima? | | | | | |
| 14. | Perde-se no texto quando lê ou executa tarefas em visão próxima? | | | | | |
| 15. | Sente necessidade de reler a mesma linha de um texto? | | | | | |
| | | __ x 0 | __ x 1 | __ x 2 | __ x 3 | __ x 4 |