

NEUROERGONOMIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – COMO A AVALIAÇÃO PSICOFISIOLÓGICA PODE CONTRIBUIR

NEUROERGONOMICS OF THE BUILT ENVIRONMENT - HOW THE PSYCHOPHYSIOLOGICAL ASSESSMENT CAN CONTRIBUTE

Márcia Seixas dos Santos¹, Mestranda
marciaseixas@live.com e <http://orcid.org/0000-0003-0179-6840>

Flávio Anthero N. Vianna dos Santos¹, D.Sc.
flavio.santos@udesc.br e <http://orcid.org/0000-0002-9670-0954>

¹ Programa de Pós-graduação em Design, UDESC, Florianópolis-SC, Brasil

espaço construído, medidas psicofisiológicas, processos cognitivos, neuroergonomia
Ao contrário das funções motoras e sensoriais, os estados afetivos do homem não são absolutamente mapeados, constituindo objeto de inúmeros estudos e pesquisas por distintas áreas do conhecimento. As medições psicofisiológicas fornecem, devido a uma tecnologia cada dia mais avançada, meios mais diretos para o reconhecimento de emoções. Nessa direção, o presente estudo teve como objetivo elaborar uma revisão sistemática de experimentos com abordagens eletroencefalográficas (EEG) para investigar a especificidade da atividade cerebral associada a diferentes estados emocionais do ser humano com o ambiente construído. Desse modo, foram apresentados três artigos, selecionados para análise de métodos e procedimentos utilizados, que correlacionassem a aplicação de EEG em diferentes situações de estímulos dos estados afetivos do homem. Esse trabalho permitiu um conhecimento mais aprofundado dessa técnica de avaliação de processos cognitivos humano com o espaço construído, intencionando a contribuição com estudos científicos, e como recomendação a trabalhos futuros.

built space, psychophysiological measures, cognitive processes, neuroergonomics
Instead motor and sensory functions, human affective states are not absolutely mapped, constituting the object of countless studies and research by different areas of knowledge. Psychophysiological responses provide, due to increasingly advanced technology, more direct means of recognizing emotions. In this direction, the present study aimed to develop a systematic review of experiments with electroencephalographic (EEG) approaches to investigate the specificity of brain activity associated with different emotional states of human beings with the built environment. Thus, three articles were presented, selected for the analysis of methods and procedures used, which correlated the application of EEG in different situations of stimuli of the affective states of man. This work shared a deeper knowledge of this technique for evaluating human cognitive processes with the built space, intending to contribute to scientific studies, and as recommendations for future work.

Recebido em: 25 / 06 / 2021

Aceito em: 15 / 12 / 2021

DOI: <http://dx.doi.org/10.22570/ergodesignhci.v9i2.1604>



1. Introdução

Desde muito tempo vêm sendo desenvolvidos estudos comportamentais com o propósito de desvendar os processos cognitivos do ser humano. Como o caso das pesquisas em neurociência, que são investigações científicas do nosso sistema nervoso central e seu complexo funcionamento. Hipócrates, o grego considerado pai da medicina, já creditava a responsabilidade pelos nossos sentidos:

Os homens devem saber que do encéfalo, e apenas do encéfalo, surgem nossos prazeres, alegrias, risos e pilhérias, assim como nossas tristezas, dores, lutos e lágrimas. É especialmente por meio dele que pensamos, vemos, ouvimos e distinguimos o feio do belo, o mau do bom, o agradável do desagradável... (HIPÓCRATES, Da Doença Sagrada, Século IV a.C.).

A capacidade de percepção, interação e adaptação do indivíduo com o mundo em que vive é baseado no sistema nervoso (STERNBERG, 2008). As funções cognitivas trabalham em conjunto para a aquisição de novos conhecimentos e para a criação de interpretações. O sistema cognitivo é a relação entre estas funções, desde os comportamentos mais simples até os mais complexos. Percepção, memória, atenção, fala, solução de problemas (aprendizagem) e atividade motora elenca Luria (1992), como as principais funções cognitivas.

O estudo do cérebro humano e a relação com seu desempenho nas atividades cotidianas, e de trabalho, (VASQUEZ et al., 2016) é uma das definições atribuídas à Neuroergonomia. Nos últimos anos, os avanços tecnológicos permitiram o aprofundamento, por métodos neurocientíficos, de estudos acerca das emoções humanas. A estreita relação entre padrões específicos de respostas fisiológicas e os estados emocionais é o que tem alavancado esse âmbito de pesquisa. Dessa forma, técnicas que proporcionam informações acerca das funções mentais do homem, à medida em que estas ocorrem, têm sido a base dessas investigações (STERNBERG, 2008). A Neuroergonomia busca nas bases neurais perceptuais e nas funções cognitivas (ver, ouvir, assimilar, etc.) relação com as configurações do mundo real (PARASURAMAN; RIZZO, 2007).

Os correlatos neurais da emoção do ser humano podem ser analisados segundo diversas modalidades de exames, como por sensores não invasivos, de características únicas com relação à resolução espaço-temporal e mobilidade. Alguns desses exames, no entanto, como a ressonância magnética funcional (fMRI) e a magnetoencefalografia (MEG), não podem ser consideradas formas práticas de reconhecimento das emoções pois, requerem condições muito específicas para aplicação. Já o eletroencefalograma (EEG), apesar da baixa resolução espacial e vulnerabilidade a ruídos, permite captação imediata de respostas a estímulos emocionais (em alta resolução temporal), com modelos mais econômicos, práticos, e de menor restrição física, que possibilitam a investigação da dinâmica do cérebro humano (MIN-KI KIM et al., 2013).

A complexidade, que envolve diversas estruturas do organismo humano, no processo de identificação das emoções, bem como as várias formas de analisá-las, culminou no questionamento do presente artigo: Como o exame de atividade elétrica cerebral, eletroencefalograma (EEG), pode auxiliar na interpretação do estado emocional do ser humano em relação ao ambiente construído? O estudo apresenta como hipótese, por conseguinte, o fato de que a aplicação da técnica de EEG, através dos estímulos elétricos gerados pelo cérebro, permite conhecimento das emoções do homem. De forma geral, o artigo objetiva analisar os principais aspectos relacionados aos estudos da neuroergonomia. Visando, especificamente, identificar a aplicação prática do método de EEG na investigação das emoções do ser humano em relação ao espaço construído.

A emoção é diretamente relacionada à tomada de decisão lógica, percepção e, de certa forma, à própria inteligência humana. O cérebro humano armazena as experiências emocionais ao longo de sua vida. Através dos sinais das ondas cerebrais, é possível examinar as respostas afetivas de uma pessoa quando exposta a diversas situações (SUHAIMI; MOUNTSTEPHENS; TEO, 2020).

A relação entre estado emocional e padrões específicos de respostas fisiológicas são motivo de grande curiosidade no mundo da ciência. Muitos trabalhos que utilizam a interface cérebro-computador (BCI), para captura de dados, focam na decodificação de sinais de EEG, para investigar a especificidade da atividade cerebral. A variedade nesse ramo de estudo do eletroencefalograma justifica a intenção de compreender os processamentos neurofisiológicos e o acesso às emoções dos indivíduos. Para tanto, o artigo que segue faz inicialmente uma exposição breve dos trabalhos selecionados para investigação (artigos em que foram estudadas aplicações do exame no momento de estímulos dos estados afetivos pelo ambiente construído) e, na sequência, são apresentados os métodos e protocolos abordados, assim como os resultados alcançados. O estudo evidencia a contribuição com os experimentos científicos que a correlação do eletroencefalograma às emoções dos indivíduos permite. A abordagem do assunto fornece diretrizes e base para pesquisas futuras em processos cognitivos do ser humano.

2. Fundamentação teórica

A neuroergonomia é considerada, pelas áreas da neurociência, ergonomia, engenharia e psicologia, a relação de otimização do desempenho mental humano durante seu trabalho físico e cognitivo (PARASURAMAN, 2003). A possibilidade de associação da neurociência a diversas outras disciplinas tem ampliado os estudos da cognição humana. “A neurociência proporciona uma alternativa científica para explicar o comportamento das pessoas durante o uso de produtos e sistemas” (VASQUEZ et al., 2016).

No contexto neurocientífico, percepção refere-se à capacidade do ser humano de associar as informações sensoriais à memória e à cognição, formando conceitos sobre o mundo, e orientando nosso comportamento (LENT, 2010). É também considerada a função cerebral que atribui significado a estímulos sensoriais, a partir do histórico pessoal do indivíduo, como a memória. Percepção consiste na aquisição, interpretação, seleção e organização das informações obtidas pelos sentidos.

O reconhecimento de estímulos externos pelos sentidos de visão, audição, olfato e tato, fundamentam basicamente a percepção. Eles integram o sistema sensorial, que é responsável por enviar as informações obtidas para o sistema nervoso central que, por sua vez, é responsável por analisar e processar as informações recebidas – por intermédio de circuitos complexos de redes interconectadas, por atividades elétricas de neurônios.

Segundo Kandel et al. 2014, é necessário fragmentar o comportamento em componentes-chave para identificar as regiões encefálicas (responsáveis por cada um desses componentes) e analisar as conexões neurais entre essas regiões, para que seja possível, então, a compreensão do controle neural de qualquer comportamento. Desse modo, segue breve explicação sobre os sistemas responsáveis pelas funções cognitivas: o sistema sensorial e o sistema nervoso central.

O sistema nervoso central é basicamente formado por encéfalo e medula espinhal. Os três principais órgãos do encéfalo são: cérebro, cerebelo e o tronco encefálico. O cérebro controla as sensações e órgãos receptores dos estímulos sensoriais, e está dividido em hemisférios direito e esquerdo. A camada mais externa do cérebro denomina-se córtex cerebral, e é a sede das funções cognitivas, e tem particular relevância para esse estudo por representar locais de abrangência do eletroencefalograma. O córtex cerebral é dividido em regiões denominadas lobos cerebrais, cada uma responsável por funções específicas (Figura 1). O lobo frontal (onde fica o córtex cingulado anterior), responsável por elaboração de ações e movimento, interações afetivas e emocionais, e contém a área de Broca; o lobo parietal, inclui funções de sensações táteis, dor, calor, e de sentido espacial; lobo occipital, responsável pelos estímulos visuais; o lobo temporal, principalmente responsável pelos estímulos auditivos, mas também a memória. Posteriormente e abaixo do cérebro, encontra-se o cerebelo, responsável pela coordenação dos movimentos e manutenção do equilíbrio. Na parte inferior do encéfalo, está localizado o tronco encefálico, que é quem conduz os impulsos nervosos do cérebro para a medula espinhal, e vice-versa. A medula espinhal é um cordão de tecido nervoso situado



dentro da coluna vertebral (ligada superiormente ao tronco encefálico), cuja função é conduzir os impulsos nervosos do restante do corpo para o cérebro, recebendo neurônios motores e sensitivos.

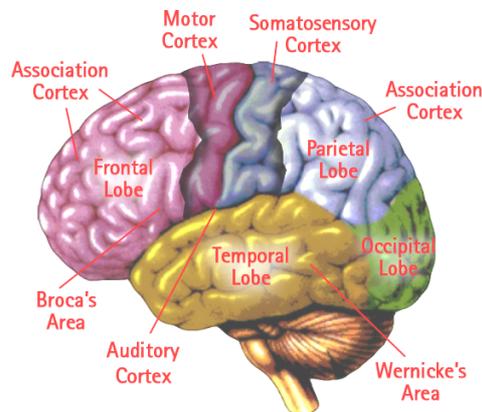


Figura 1: Divisão do Córtex Cerebral
Fonte: www.pousadamente.blogspot.com

De acordo com *Princípios de Neurociências*, Kandel et al. 2014, entende-se a lógica do funcionamento sensorial onde cada órgão desse sistema capta os sentidos através de receptores. Os receptores (terminações nervosas que transformam estímulos externos em impulso nervoso, específicos para cada sistema) devem inicialmente analisar e, então, desmembrar a informação originada do estímulo a que são sensíveis, por exemplo: luz, pressão, som, sabor e substâncias odoríferas. Quando um receptor é estimulado (como a incidência de luz em uma célula fotorreceptora na retina) sua resposta segue um padrão distinto de disparos representando certas propriedades desse estímulo. Cada sistema sensorial recebe, então, a informação acerca do estímulo, que é transmitida por uma via de células a uma região específica (unimodal) do córtex cerebral. No córtex diferentes regiões unimodais, representando diferentes modalidades sensoriais, comunicam-se com áreas associativas¹ por vias específicas, em uma rede onde os sinais são selecionados e combinados em uma percepção.

Estudos sobre neurociência e cognição indicam que sinais fisiológicos podem refletir estados emocionais humanos. A eletroencefalografia (EEG), devido sua alta resolução temporal, tem sido amplamente utilizada no reconhecimento das emoções. (YANG KAI et al., 2020). O eletroencefalograma é um exame que realiza a medida das flutuações de tensão resultantes da corrente iônica dentro dos neurônios do cérebro, possibilitando a visualização da atividade generalizada do córtex cerebral. O registro de um EEG pode ser feito como método não invasivo e indolor. Através de eletrodos, fios condutores fixados ao escalpo, que são conectados a amplificadores e aparelhos de registro, pequenas flutuações de voltagem são medidas entre pares de eletrodos selecionados (geralmente poucas dezenas de microvolts, μV , de amplitude). As diferentes regiões do encéfalo podem ser examinadas com a seleção apropriada de pares de eletrodos (BEAR et al., 2017).

Um EEG mede a voltagem gerada pelas correntes que fluem durante a excitação sináptica dos dendritos de muitos neurônios piramidais no córtex cerebral, o qual se situa logo abaixo da superfície cranial. O registro típico desse exame é um agrupamento de muitos traçados irregulares simultâneos (Figura 2), indicando as alterações de voltagem entre os pares de eletrodos (BEAR et al., 2017). O autor ressalta, ainda, que a contribuição elétrica de qualquer neurônio cortical isolado é demasiadamente pequena uma vez que, o sinal precisa penetrar as várias camadas de tecido não neural (e toda a estrutura anatômica existente), para atingir

¹ Áreas Associativas: regiões do córtex que não estão envolvidas diretamente com funções motoras ou sensoriais, constituem, portanto, áreas de associação. (BEAR et al, 2017, p. 224).

os eletrodos. Logo, são necessários milhares de neurônios subjacentes, de ativação conjunta, para gerar um sinal de EEG suficiente para visualização.

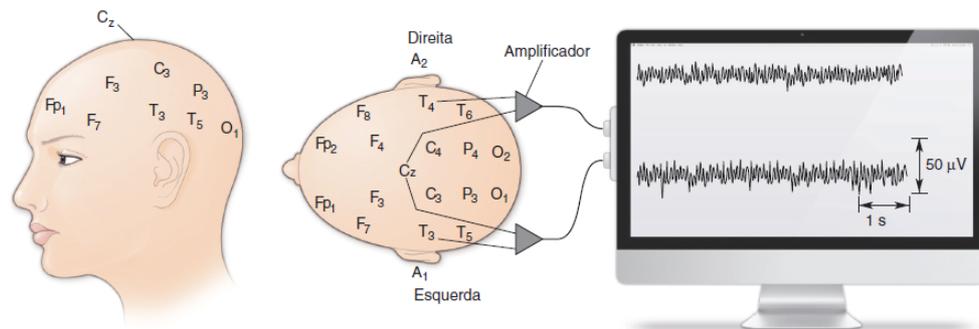


Figura 2: Posições-padrão de eletrodos no EEG, e registro da atividade elétrica
Fonte: BEAR et al, 2017, p. 647

Usualmente, aplicativos de diagnóstico mantêm o foco no conteúdo espectral da EEG, que é o tipo de oscilações neurais popularmente conhecidas como "ondas cerebrais". Os ritmos cerebrais são caracterizados por frequência - número de flutuações num determinado tempo padronizado (ciclos por segundo = Hz), e pela amplitude - flutuações de voltagem descritas segundo a magnitude ou amplitude (milionésimo de volt ou μV).

O aparelho de EEG funciona de acordo com: banda de frequências; taxa de amostragem; número de canais; amplificador; CMRR – razão de rejeição comum e aterramento. As atividades cerebrais são geralmente acompanhadas por mudanças na frequência do EEG. As bandas de frequências apresentam-se do seguinte modo: Alfa - frequência: 8 a 13 Hz, amplitude: 5 a 100 μV , em geral < 50 μV ; Beta - frequência: 13 Hz a 35 Hz, amplitude: variável, mas > 30 μV ; Teta - frequência: 4 a 8 Hz amplitude: variável; Delta - frequência: < 4 Hz, amplitude: geralmente mais alta; Gama - frequência: 30 Hz a 70 Hz. Existem ainda, os filtros que regulam as frequências a serem registradas (de 1 a 70hz), e evitam interferências indesejadas, e os amplificadores que aumentam a voltagem a ser registrada, possibilitando o registro da atividade elétrica cerebral. Para realização de um EEG, após aplicação dos eletrodos, é necessário fazer a verificação dos mesmos, ou seja, medir a impedância dos eletrodos, aplicando uma pequena voltagem a eles e medindo a quantidade de corrente que passa no circuito. A impedância aceitável de eletrodos de superfície é abaixo de 5 Kohms, se esse valor for mais alto deve-se reduzir adicionando gel eletrolítico, reposicionando ou trocando-o, se necessário. Quanto maior a impedância, maior a resistência à passagem de corrente, diminuindo a amplitude e aumentando o ruído.

De acordo com estudos anteriores, o estado de alerta e as imagens motoras estão relacionadas a sinais de baixa frequência de EEG; já atenção, memória e emoções são comumente relacionadas com esses sinais em alta frequência (> 30 Hz). Os últimos estudos indicam essas conexões entre atividades da banda de alta frequência e emoções, particularmente a banda gama alta (50-70 Hz) com importante papel no controle cognitivo das emoções (YANG KAI et al., 2020).

A realização de um eletroencefalograma se dá através de eletrodos capazes de medir as diferenças de potencial em pontos do couro cabeludo. A fim de padronizar esse sistema de teste, permitindo a repetição do serviço e em diferentes locais, a federação internacional de eletroencefalografia e neurofisiologia clínica recomendou a utilização de um sistema standard para colocação dos elétrodos, conhecido como o Sistema Internacional 10-20. Isso porque ele faz uso de 10% e 20% das distâncias entre alguns marcos ósseos para determinar a posição relativa dos eletrodos, setenta e cinco posições ao longo de cinco planos posteriores e anteriores paralelos à linha central de onze posições (Figura 3). Esse sistema determina que os eletrodos de número ímpar se situam no hemisfério esquerdo e os elétrodos de número par ficam no hemisfério direito.

Faz parte, também, a definição de letras que designam a área anatômica sendo F- frontal, C- central, P- parietal e O- occipital (de acordo com a divisão do córtex cerebral) (Faria, 2014).

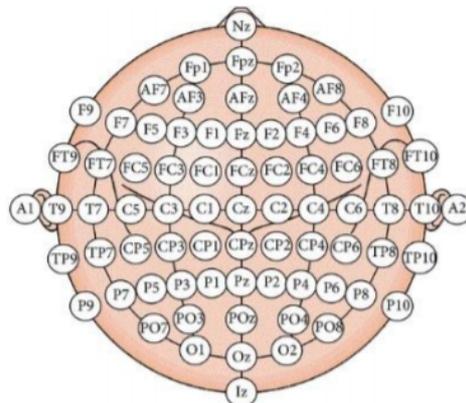


Figura 3: Sistema Internacional 10-20 de colocação de eletrodos.
Fonte: Faria, 2014.

A Interface Cérebro-Computador (BCI) conecta o cérebro humano a computadores ou dispositivos, gerando a interação desses sistemas. O que promoveu um grande alcance de aplicação, ampliando os cenários onde isso se torna possível, principalmente em estudos das neurociências, no âmbito das emoções.

3. Metodologia

Para avaliar como a medida psicofisiológica por EEG pode contribuir com a neuroergonomia, o estudo buscou agregar evidências de pesquisas realizadas através de uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) de artigos científicos. A RBS, instrumento de mapeamento de trabalhos publicados, permite ao pesquisador a elaboração de uma síntese do conhecimento sobre determinado assunto (BIOLCHINI et al., 2007). Para Mulrow (1994), o uso de revisões sistemáticas possibilita maior rigor e confiabilidade dos resultados do estudo. A revisão do presente artigo foi realizada nas bases de dados *web of science* e *semantic scholar*, seguindo o mesmo *string* de busca para ambas: palavras buscadas – "built environment" "neuroscience" "emotions" "electroencefalogram"; operador lógico – AND. Foram adotados como critério de inclusão o período da publicação entre os anos de 2017 e 2021, visto que se trata de uma tecnologia bastante atual nos estudos do ambiente construído, o caráter aberto (*open access*) das publicações revisadas e o tipo de publicação definido foi artigo de pesquisa em periódicos. A plataforma *web of Science* obteve onze resultados, dos quais um foi selecionado por realmente se tratar de estudo com medições de EEG relacionado ao ambiente construído. A plataforma *semantic scholar* resultou em doze opções, de onde foram selecionados dois outros estudos pelo mesmo motivo. Abaixo segue descrição dos artigos selecionados para essa análise, levando em consideração os aspectos mais relevantes para a neuroergonomia.

[1] *Effects of Changes to Architectural Elements on Human Relaxation-Arousal Responses: Based on VR and EEG* – Efeitos das mudanças nos elementos arquitetônicos nas respostas de estimulação e relaxamento humano: com base em RV e EEG (tradução nossa) – estudo que combina eletroencefalograma (EEG) com tecnologias de realidade virtual (RV) para medir as respostas do EEG (ondas cerebrais) de usuários do sexo feminino que experimentam mudanças em elementos arquitetônicos, de uma sala privada em um centro de atendimento pós-parto construído em RV;

[2] *Exploring a sustainable building's impact on occupant mental health and cognitive function in a virtual environment* – Explorando o impacto de um edifício sustentável na saúde mental e função cognitiva dos ocupantes em um ambiente virtual (tradução nossa) – esse estudo utilizou ambientes virtuais e eletroencefalograma (EEG) e abordagens de potencial relacionado a eventos (ERP), para fornecer informações neurofisiológicas objetivas sobre como edifícios sustentáveis (SBs) impactam o funcionamento

afetivo e cognitivo das pessoas de forma diferente, em comparação com edifícios convencionais (CBs), no intuito de avaliar a validade dos protocolos de projeto de construção sustentável que visam promover e aumentar a saúde mental e o bem-estar, bem como validar o mecanismo usado para realização desses aumentos;

[3] *Walking through Architectural Spaces: The Impact of Interior Forms on Human Brain Dynamics – Caminhando por Espaços Arquitetônicos: O Impacto das Formas Interiores na Dinâmica do Cérebro Humano* (tradução nossa) – avaliação dos correlatos neurofisiológicos de diferentes formas interiores sobre o estado afetivo dos usuários e a atividade cerebral acompanhante, para investigar a atividade cerebral humana durante a percepção dos espaços arquitetônicos, utilizando da abordagem de imagem móvel cerebral e registrando o EEG dos participantes enquanto eles caminham por diferentes formas interiores em realidade virtual.

Os três trabalhos selecionados usaram métodos qualitativos, questionários ou pesquisas, e quantitativos, EEG, de qualificação. Abaixo o Quadro 1 ilustra o delineamento de pesquisa realizado em cada um dos artigos apresentados:

Quadro 1: Características dos estudos selecionados.

	PARTICIPANTES	TIPO ESTÍMULO	CONFIGURAÇÃO DO ESTUDO
[1] ≠ elementos Arquitetônico Sala Pós-parto	31 mulheres	Ambiente RV simulado (2 espaços basicamente diferentes)	9 min. em média /participante (1' EEG antes do amb simulado e 7' durante o RV) → Variação de pé-direito, tamanho da janela e proporção de medidas em planta baixa
[2] Impacto edifício Sustentável (SB) vs edifício Convencional (CB)	36 alunos de graduação (9 Mulheres) Entre 17 e 23 anos	Ambiente simulado (3 espaços/edifício, 1 edif. Sustentável e 1 edif. convencional) e imagens	Pouco menos de 1,5h / participante → 5' de vídeo + 10' de imagem = 20' para SB e 20' para CB
[3] Caminhando por Espaços Arquitetônicos	8 Mulheres 7 Homens média 28 anos leigos no assunto	Espaço 3D em Realidade Virtual (4x 18 salas)	20 min. em média de Experimento /participante

Fonte: a Autora.

Todos os procedimentos foram acompanhados de questionários para os participantes responderem, a fim de avaliar qualitativamente as respostas consciente dos mesmos. Porém, no presente estudo não estão exemplificados devido enfoque da investigação quanto à abordagem do eletroencefalograma. No Quadro 2, abaixo, observa-se a comparação das questões técnicas empregadas na medição de EEG em cada um dos estudos.

Quadro 2: Características das técnicas de Eletroencefalograma aplicadas.

	EQUIPAMENTO	ACESSO	ABORDAGEM	PROTOCOLO
[1] ≠ elementos Arquitetônico Sala Pós-parto	EEG DSI-24 canais Wearable Sensing com e sem fio seco	19 eletrodos	Sistema Internacional 10-20	SW DSI Wearable Sensing, e TeleScan_Laxtha p/ saída dados CSV

[2] Impacto edifício Sustentável vs edifício Convencional	Touca BrainProducts Actichamp 104 canais	96 Canais EEG Impedância <15kΩ	Sistema Internacional 10-20	EEGLAB (BrainVIsion + amplif. actiCHamp EASYCAP GmbH)
[3] Caminhando por Espaços Arquitetônicos	Touca elástica – EASYCAP/ Herrsching	128 eletrodos 99 canais Impedância <15kΩ	Sistema de 5% (Deutsche EEG-Gesellschaft)	Matlab (MathWorks) / EEGLAB (github.com)

Fonte: a Autora.

[1] taxa de amostragem de 300 Hz e filtro de bandpass de 0,003~150 Hz.

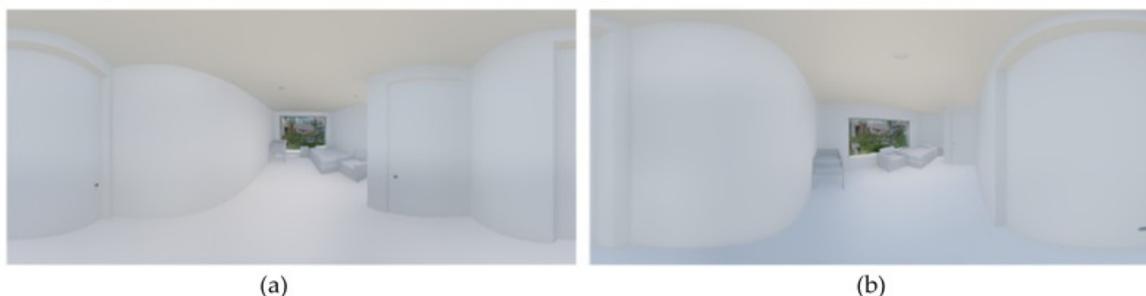
[2] taxa de amostragem de 500 Hz.

[3] taxa de amostragem de 1000 Hz e filtro de bandpass de 0,016 Hz a 250 Hz.

4. Resultados

Os artigos explorados nesse estudo, resultantes da RBS, apresentam em comum a metodologia utilizada com abordagem qualitativa, por questionários ou pesquisas, e quantitativa, com o EEG, e estão sintetizados nesta sessão. O primeiro apresentado é *Effects of Changes to Architectural Elements on Human Relaxation-Arousal Responses: Based on VR and EEG* (KIM; PARK; CHOO, 2021); segue com o artigo *Exploring a sustainable building's impact on occupant mental health and cognitive function in a virtual environment* (HU et al., 2021); e por ultimo o *Walking through Architectural Spaces: The Impact of Interior Forms on Human Brain Dynamics* (BANAEI et al., 2017).

[1] *Effects of Changes to Architectural Elements on Human Relaxation-Arousal Responses: Based on VR and EEG*: dois formatos de sala foram criados para exploração em realidade virtual, chamadas Tipo A e Tipo B (figura 4) e para o experimento sofreram variações (figura 5).



(a) (b)
Figura 4: Imagem 3D dos Tipo A e B dos espaços em VR.
Fonte: KIM; PARK; CHOO, 2021.

Block 1	Block 2	Block 3	Block 4	Block 5	Block 6
S 1: A-2.3m-20%	S 1: A-2.7m-20%	S 1: A-3.0m-20%	S 1: B-2.3m-20%	S 1: B-2.7m-20%	S 1: B-3.0m-20%
S 2: A-2.3m-40%	S 2: A-2.7m-40%	S 2: A-3.0m-40%	S 2: B-2.3m-40%	S 2: B-2.7m-40%	S 2: B-3.0m-40%
S 3: A-2.3m-60%	S 3: A-2.7m-60%	S 3: A-3.0m-60%	S 3: B-2.4m-60%	S 3: B-2.7m-60%	S 3: B-3.0m-60%
S 4: A-2.3m-80%	S 4: A-2.7m-80%	S 4: A-3.0m-80%	S 4: B-2.4m-80%	S 4: B-2.7m-80%	S 4: B-3.0m-80%
S 5: A-2.3m-100%	S 5: A-2.7m-100%	S 5: A-3.0m-100%	S 5: B-2.4m-100%	S 5: B-2.7m-100%	S 5: B-3.0m-100%

• Legend
S 1 : A - 2.3m - 20%
 S : Stimulus A : Aspect Ratio of Space (1 : 1.6) Ceiling height Window-to-wall ratio
 B : Aspect Ratio of Space (1.6 : 1)

Figura 5: Variações dos espaços em VR para Tipo A e B.
Fonte: KIM; PARK; CHOO, 2021.

Foi usado o teste dos postos sinalizados de Wilcoxon para comparar os valores dos indicadores de ondas alfa para beta (RAB: razões alfa/beta) pré e pós-estimulação e para analisar as respostas de relaxamento-excitação. Em ambas as proporções de espaço, Tipo A e Tipo B, diferenças estatisticamente significativas foram encontradas em resposta às proporções da janela para cada altura do teto ($p < 0,05$). Ou seja, este resultado substância os efeitos das mudanças nos elementos arquitetônicos nas respostas de relaxamento-excitação do EEG. A análise do Tipo A encontrou o seguinte: diferenças significativas nos valores do indicador RAB pré e pós-estimulação observadas nos canais F3, F4, P3 e P4 para a altura do teto de 2,3m, em F4 e P3 para a altura do teto de 2,7m e em Fp1, F3, F4, P3 e O2 para o pé-direito de 3,0m. Principalmente, os canais F4 (lobo frontal direito) e P3 (lobo parietal) mostraram diferenças significativas em resposta a mais razões de janela do que os outros canais para todas as alturas de teto. Todos os canais que apresentaram diferenças significativas foram caracterizados por valores indicadores negativos (-). Este achado é atribuível à resposta de excitação resultante da diminuição do RAB depois que os participantes experimentaram os estímulos no espaço de RV. Por outro lado, alguns canais foram observados para mostrar padrões característicos em comparação com outros sem diferenças estatisticamente significativas. Os canais pré-frontais Fp1 e Fp2 mostraram as mudanças mais insignificantes nos valores do indicador RAB pré e pós-estimulação em comparação com os outros canais. O1 foi o único canal que mostrou valores positivos (+) dos indicadores pré e pós-estimulação em resposta a todas as razões de janela. Este achado é atribuível à resposta de relaxamento resultante do aumento pós-estimulação no RAB (figura 6).

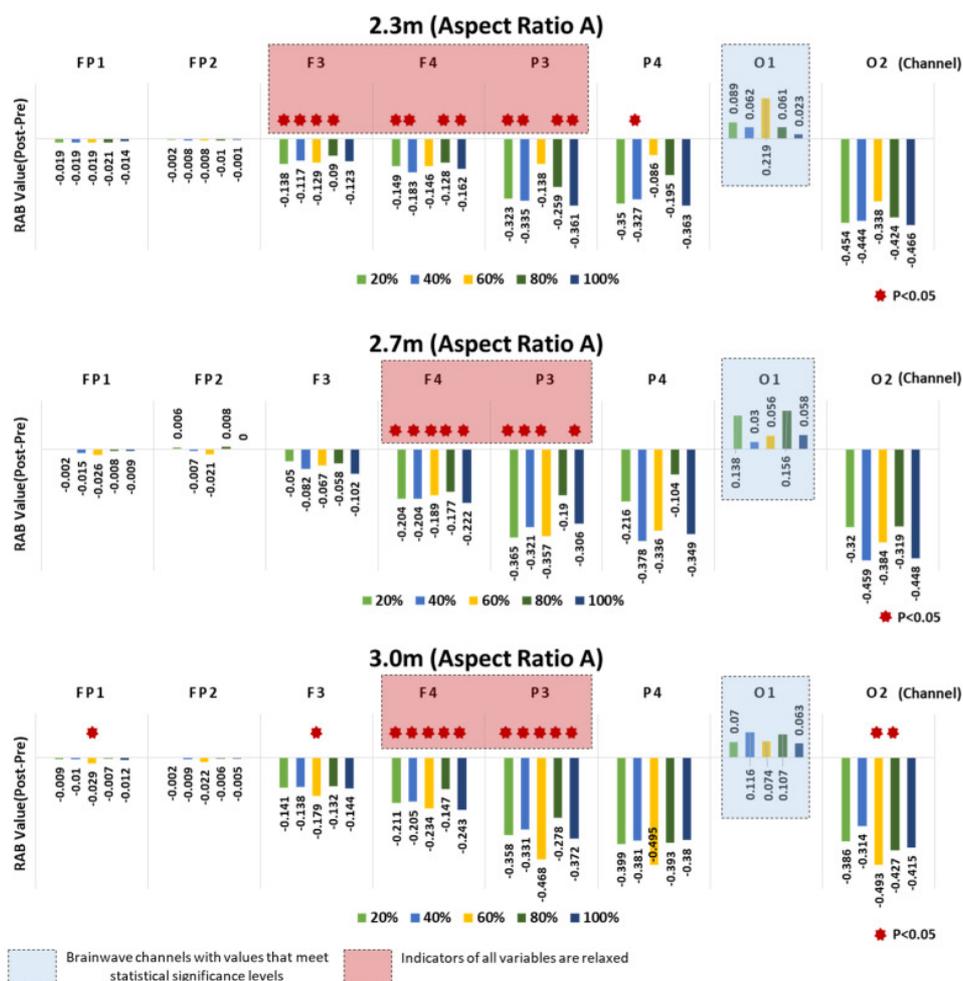


Figura 6: Resultados da análise, em tipo A, do indicador de RAB para proporção janela/pé-direito. Fonte: KIM; PARK; CHOO, 2021.

E a análise do Tipo B encontrou o seguinte: comparada ao Tipo A, os canais que mostram diferenças significativas nos valores do indicador RAB foram encontrados mais esporádicos no Tipo B. Os canais FP1, F3, F4, P3, P4 e O2 mostraram diferenças significativas pré e pós-estimulação para 2,3m e 2,7m altura do teto, enquanto FP1, F3, F4 e P3 apresentaram diferenças significativas para a altura do teto de 3,0m. Para todas as alturas de teto, as diferenças significativas encontradas no Canal P3 (lobo parietal esquerdo) concentraram-se nas proporções da janela. Uma diferença significativa, ou uma grande resposta de excitação, foi observada no Canal O2 para a altura de teto de 2,3m. Assim como no Tipo A, todos os valores indicadores dos canais que mostram as diferenças significativas foram valores negativos (-), que confirmaram a resposta de excitação. Além disso, a resposta de relaxamento foi observada no O1, que foi o único canal que retornou valores positivos (+) do indicador RAB em resposta a todas as razões de janela para a altura de teto de 2,3m. Os lobos pré-frontais Fp1 e Fp2 mostraram diferenças significativas em resposta a algumas razões de janela e mudanças insignificantes nos valores do indicador RAB pré e pós-estimulação, em comparação com os outros canais, como no Tipo A. Como resultado, o Canal P3 (lobo parietal esquerdo) mostrou diferenças pré e pós-estimulação estatisticamente significativas nos valores do indicador RAB em ambos os Tipos A e B (Figura 7)

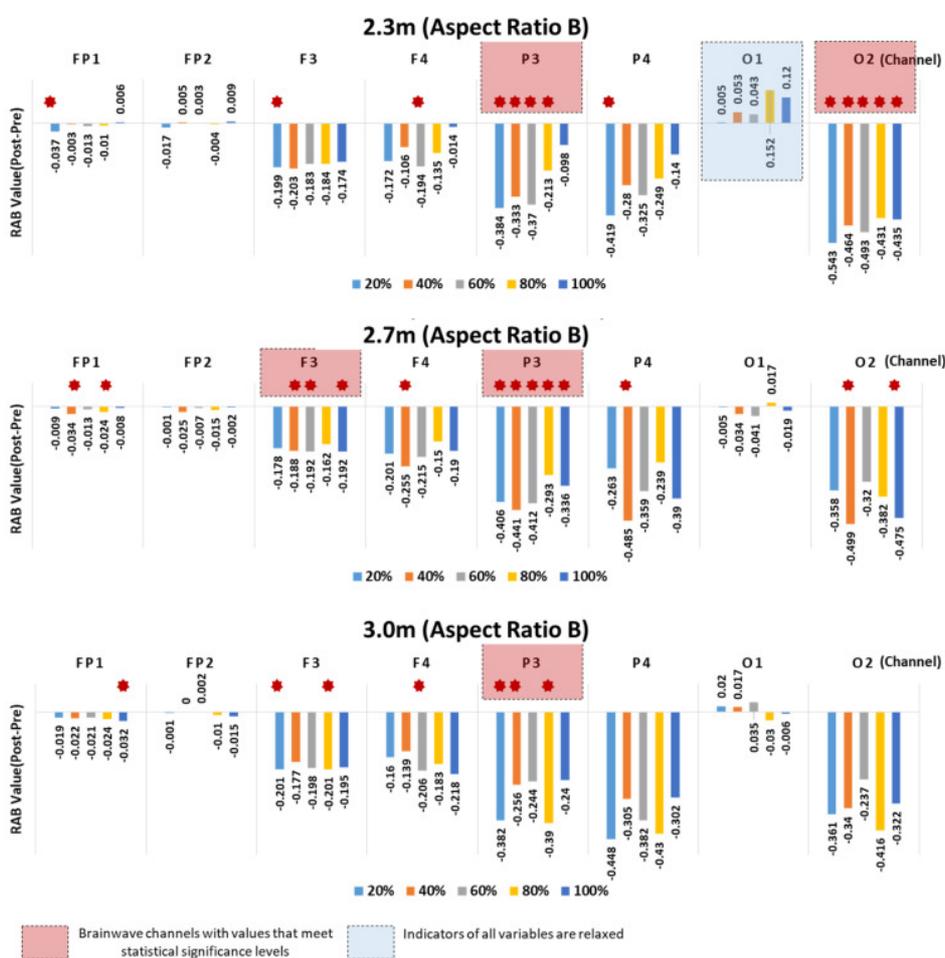


Figura 7: Resultados da análise, em tipo B, do indicador de RAB para proporção janela/pé-direito.
 Fonte: KIM; PARK; CHOO, 2021.

[2] *Exploring a sustainable building's impact on occupant mental health and cognitive function in a virtual environment*: a figura 8 apresenta os ambientes criados para o edifício sustentável e para o edifício comercial, que serviram de design virtual para o experimento. E a figura 9 ilustra as telas do experimento e o equipamento de EEG para tanto.

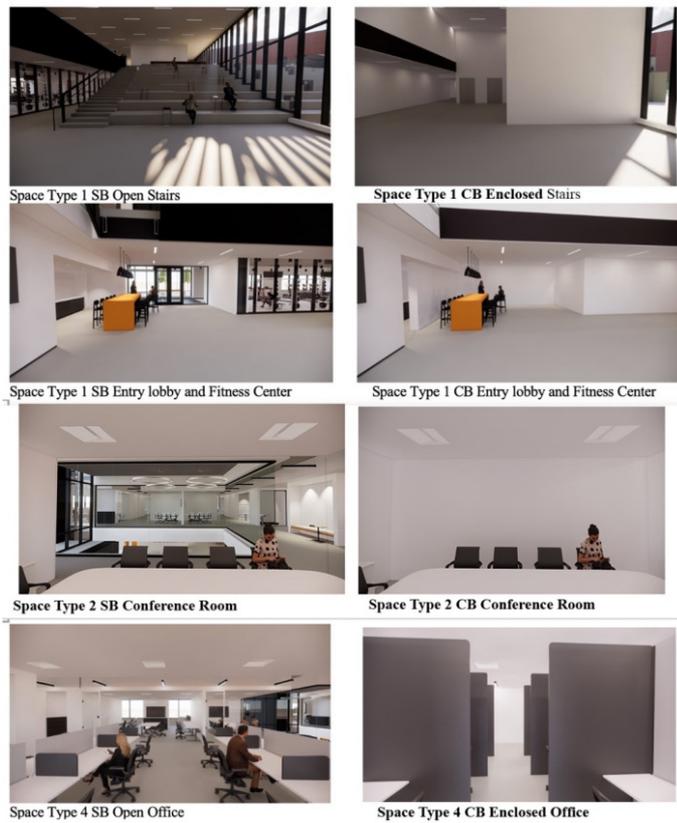


Figura 8: Ambientes simulados para SB e CB.

Fonte: HU et al., 2021.

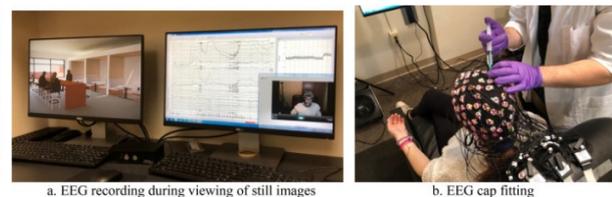


Figura 9: Imagens do experimento.

Fonte: HU et al., 2021.

O estudo baseou-se em duas hipóteses. A primeira que diz que os SBs estão associados a um maior envolvimento do sistema visual em comparação com os CBs, e para a segunda, em comparação com os CBs, os ocupantes dos SBs exibirão foco de atenção modulado e processamento de controle. Os resultados foram apresentados a partir das imagens estáticas e do vídeo da RV; e foi escolhido investigar a amplitude do TF, conectividade funcional para dados de EEG/ERP com base na sincronia de fase de intercâmbio, e a conectividade funcional (FC) em relação às hipóteses 1 e 2. Análises com imagens estáticas – os resultados (Figura 10) demonstram diferenças robustas entre os designs SB e CB. O painel esquerdo apresenta os efeitos de amplitude e a conectividade funcional frontal e occipital da banda teta direita. Para amplitude, a linha superior contém a atividade tradicional no domínio do tempo e as três linhas abaixo que representam a atividade de frequência do tempo para alfa (8-12 Hz), teta (3-7 Hz) e delta (0-3 Hz). Os mapas no topo, à direita dos gráficos de amplitude, representam as diferenças de amplitude (vermelho indica amplitude relativamente maior para o SB e azul indica amplitude relativamente maior para o CB) e a significância associada (gráficos topo preto e branco, onde branco indica $p < 0,01$ e preto indica $p > 0,10$, conforme comparações não paramétricas de Wilcoxon não corrigidas). Aumentos de processamento occipital para o SB, em relação ao CB, são prontamente aparentes para cada banda na faixa de 0-500 ms (delta, teta e alfa), sugerindo maior envolvimento em áreas occipitais para vários sistemas de processamento (ressalta-se que a atividade alfa desempenha um papel inibitório). Aumentos relativamente localizados nas áreas frontais laterais podem ser observados na banda teta, onde as hipóteses previam engajamento modulado de áreas pré-frontais laterais associadas ao controle. Os efeitos nessa etapa foram consistentes com o tempo e os efeitos do TF, indicando diminuição da conectividade nas regiões frontais, aumento da atividade nas regiões occipitais e aumentos entre os locais occipital e frontal bilateral - para o SB em relação ao CB. Efeitos significativos também foram observados para bandas delta e alfa, mas não foram facilmente interpretados em relação às hipóteses durante este trabalho piloto.

Still Image ERPs: Sustainable vs. Conventional Bldg.

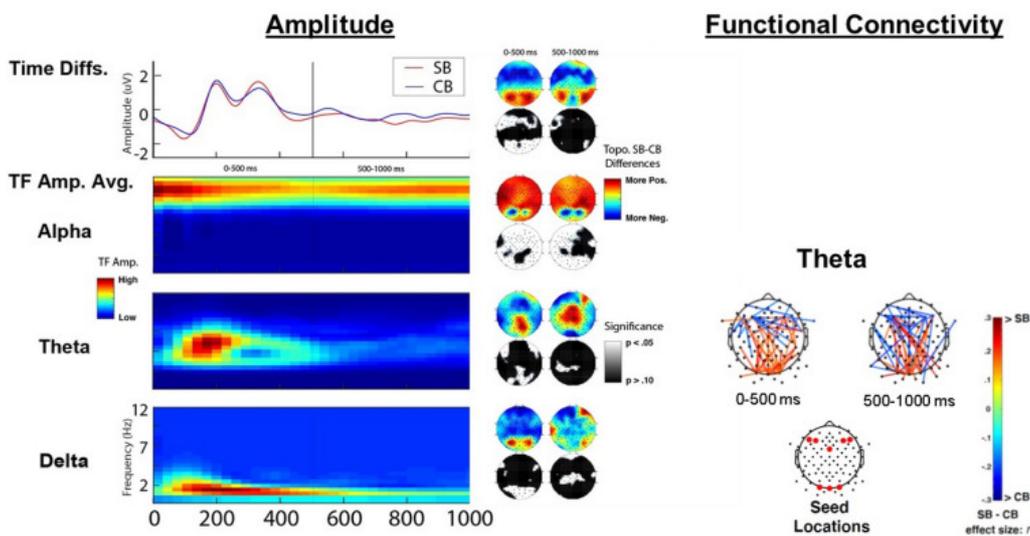


Figura 10: ERPs durante análise de imagens estáticas na RV.
 Fonte: HU et al., 2021.

Os resultados do EEG contínuo registrado durante o filme são apresentados na Figura 11. Os resultados de amplitude, na parte esquerda da figura, indicam aumentos significativos na atividade da banda teta no SB, incluindo as áreas medial-frontal, centroparietal e occipital. Não foram observadas diferenças nas bandas de frequência alfa ou delta. Para a conectividade funcional (medidas TF-ICPS), foram observadas modulações significativas no SB. Delta e teta evidenciaram aumentos substancialmente mais significativos (linhas vermelhas) para o SB em relação ao CB, enquanto alfa evidenciou diminuições substancialmente mais significativas (linhas azuis) para o SB em relação ao CB. Esses efeitos são consistentes com a ideia de teta e delta como excitatórios (aumenta para o SB em relação ao CB) e alfa como inibitório (diminui para o SB em relação ao CB). Os dados registrados forneceram, de forma geral, evidências que sustentam as diferenças entre os recursos de SB e CB. Em relação a hipótese 1, os assuntos de teste demonstraram um envolvimento do sistema visual aumentado no SB em comparação com aquele no CB. E para a hipótese 2, os sujeitos de teste exibiram um foco de atenção modulado e processamento de controle aumentados no SB em comparação com o CB.

EEG During Movie: Sustainable vs. Conventional Bldg.

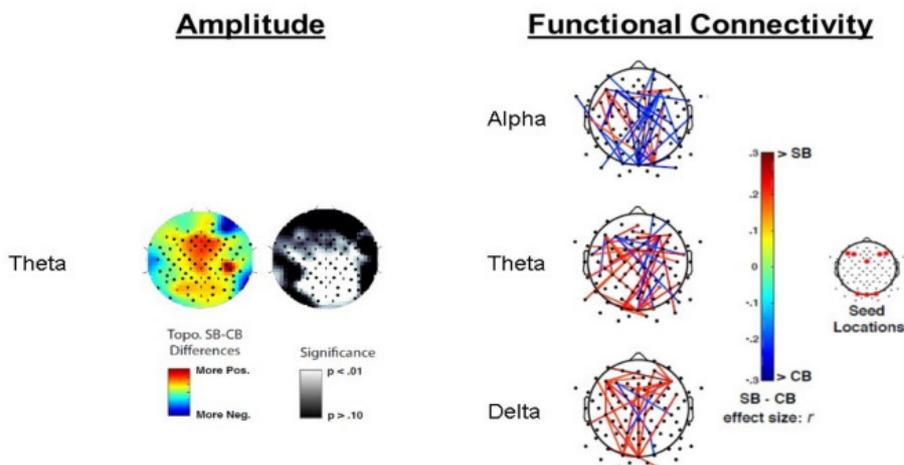


Figura 11: ERPs durante análise de vídeos na RV.



Fonte: HU et al., 2021.

[3] *Walking through Architectural Spaces: The Impact of Interior Forms on Human Brain Dynamics*: experimento acerca do ambiente construído com o uso simultâneo de realidade virtual (figura 12) e EEG (figura 13), bem como as variações dos ambientes experimentados (figura 14).

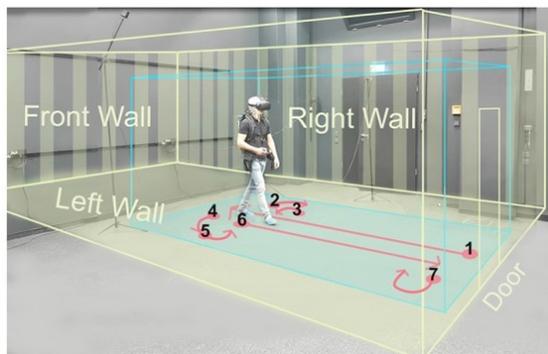


Figura 12: Ambientes de teste com RV.
 Fonte: BANAEI et al., 2017.

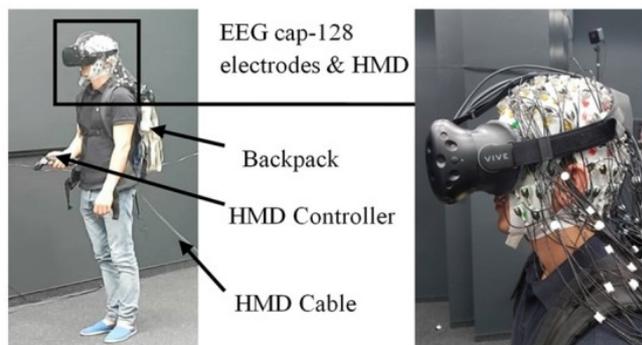


Figura 13: Equipamentos de RV e EEG.
 Fonte: BANAEI et al., 2017.

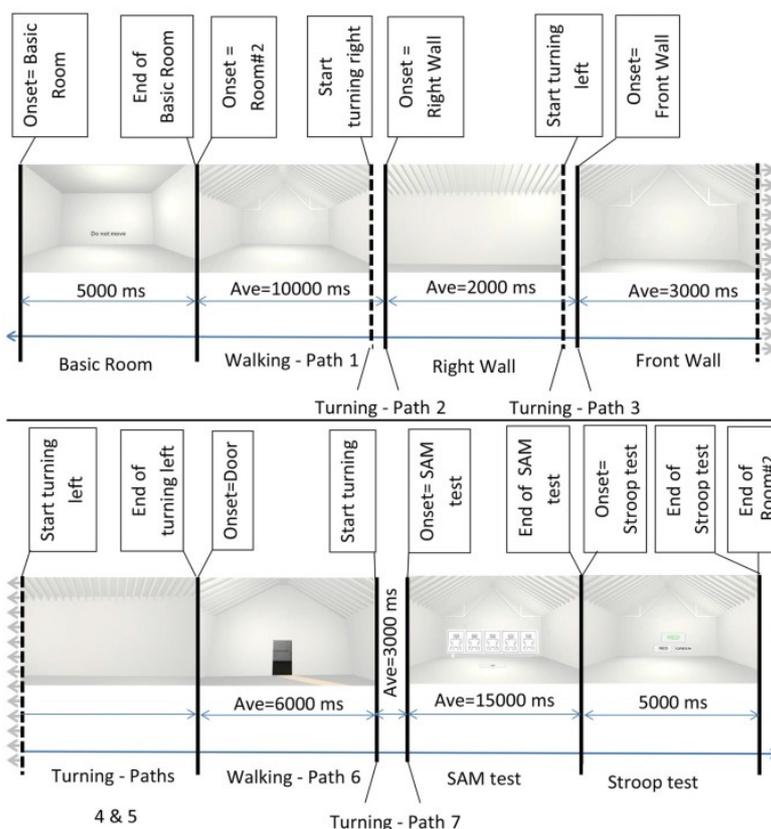


Figura 14: Variações de ambientes experimentados pela RV.
 Fonte: BANAEI et al., 2017.

Enquanto a atividade no Córtex Cingulado Anterior (ACC) mostrou uma associação clara com classificações afetivas e características de forma, outras áreas do cérebro também demonstraram atividade relacionada à tarefa. Houve alterações comparáveis na atividade originada em ou perto do ACC para dois grupos com diferentes classificações de emoção (contendo movimento, cognição e excitação) e percepção de diferentes perspectivas da sala (contendo movimento e cognição), que reforçam o papel central do ACC nas



experiências estéticas e arquitetônicas. As áreas posteriores do cérebro, Córtex Cingulado Posterior e Lobo Occipital, mostraram maior atividade quando os participantes experimentaram a mudança de ângulo de visão (perspectiva), potencialmente como reflexo dessa alteração de perspectiva durante o movimento no espaço. O Córtex Cingulado Posterior e o Lobo Occipital também revelaram padrão de atividade entre as mudanças de profundidade percebidas nas salas. Mostrou-se evidente um contraste entre as funções do aspecto anterior e posterior do Córtex Cingulado, sugerindo um envolvimento da parte anterior no controle emocional e da parte posterior na orientação espacial. Os resultados revelaram, assim, os efeitos das mudanças de direção no Córtex Cingulado Posterior, mas nenhum efeito das avaliações emocionais neste. (Figura 15).

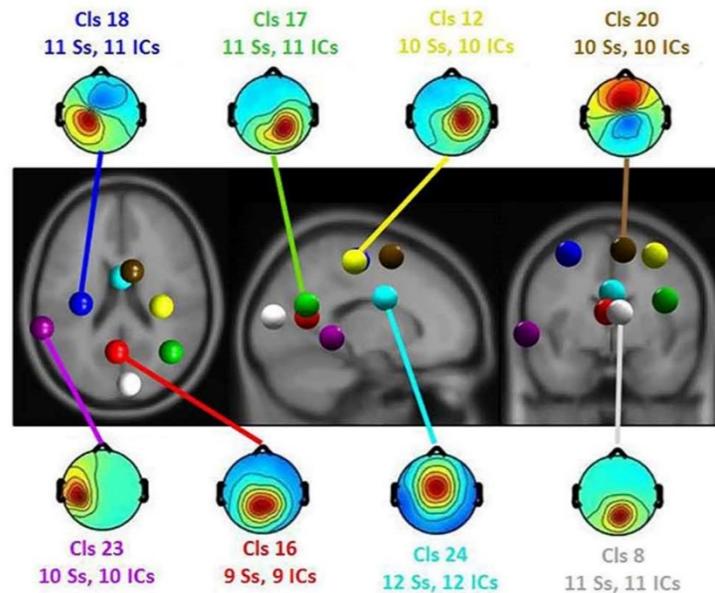


Figura 15: Resultados do EEG indicando as áreas de atividade.
Fonte: Banaei et al., 2017.

5. Discussão

Esta sessão apresenta a discussão acerca dos resultados de cada um dos trabalhos adotados, resultantes da RBS realizada, na qualidade de trabalho científico. Como na sessão anterior, o primeiro apresentado é *Effects of Changes to Architectural Elements on Human Relaxation-Arousal Responses: Based on VR and EEG* (KIM; PARK; CHOO, 2021); segue com o artigo *Exploring a sustainable building's impact on occupant mental health and cognitive function in a virtual environment* (HU et al., 2021); e por ultimo o *Walking through Architectural Spaces: The Impact of Interior Forms on Human Brain Dynamics* (BANAEI et al., 2017).

[1] *Effects of Changes to Architectural Elements on Human Relaxation-Arousal Responses: Based on VR and EEG*: A primeira análise estatística foi em relação à hipótese 1 < A experiência em um espaço de RV variando com diferentes tipos de elementos arquitetônicos não levará a diferenças significativas nas respostas de relaxamento-despertar baseadas em EEG >, que obteve como resultado, diferenças significativas observadas em ambos os Tipos A (1: 1,6) e B (1,6: 1), enquanto, ao mesmo tempo, a maior resposta de excitação foi observada em B do que em A. Os canais que apresentaram diferenças significativas variaram com os elementos de altura do teto. Ainda assim, a análise comparativa das alturas do teto (2,3 m, 2,7 m, e 3,0 m) não encontraram alterações substanciais nos valores do indicador. Ou seja, não foi encontrada nenhuma relevância evidente dos valores do indicador RAB para as alturas superiores ou inferiores do teto.

Em relação à análise estatística da hipótese 2 <Nenhum lóbulo específico do cérebro estará envolvido nas respostas de estimulação e relaxamento baseadas em EEG para a experiência em um espaço de RV variando com diferentes tipos de elementos arquitetônicos> ela foi rejeitada uma vez que, certos lobos cerebrais mostraram diferenças estatisticamente significativas nas respostas de relaxamento-excitação após a experiência no espaço VR. Os lobos cerebrais que mostraram valores indicadores de RAB pré e pós-estimulação significativamente diferentes variaram entre os tipos de relações de aspecto do espaço e as alturas do teto. Múltiplas diferenças significativas foram encontradas nos canais F4 (lobo frontal direito) e P3 (lobo parietal esquerdo) no Tipo A, e P3 (lobo parietal esquerdo) no Tipo B.

Os achados do presente estudo sobre a resposta significativa do lobo frontal direito e do lobo parietal esquerdo ao EEG no ambiente de RV, onde os elementos arquitetônicos foram aplicados, corroboram a literatura. As descobertas também apoiam a necessidade de observar com cuidado a ativação dessas duas regiões ao medir a resposta do cérebro ao espaço. Além disso, como o único canal que apresentou resposta de relaxamento, que não foi estatisticamente significante, o Canal O1 (lobo occipital esquerdo) deve ser discutido em estudos posteriores. Os padrões de design que o trabalho recomenda para os profissionais ao projetar salas privadas em centro de cuidados pós-parto são os seguintes: - alturas de teto recomendadas para os Tipos A e B por proporções de janela são 2,3 e 3,0m para a proporção de 60%, 2,7 e 3,0m para a proporção de 80%, 2,7 e 2,3m para a proporção de 100%; - as combinações de altura do teto e proporção da janela que induziu o menor nível de reação de excitação foram 2,3m e 60% para o Tipo A (1: 1,6) e 2,3 m e 100% para o Tipo B (1,6: 1) e, assim, recomendam-se essas combinações.

[2] *Exploring a sustainable building's impact on occupant mental health and cognitive function in a virtual environment*: esse trabalho forneceu validação inicial da abordagem proposta de combinar eletroencefalografia (EEG) e potenciais relacionados a eventos (ERPs) com imagens e vídeos de abordagens emergentes de tecnologia de design virtual para caracterizar o processamento cognitivo-afetivo relevante para as experiências dos ocupantes em ambientes construídos propostos. Preparando, assim, o terreno para extensões planejadas para o uso de abordagens de design virtual com EEG/ERP em ambientes de realidade virtual (VR) imersiva. Essas descobertas iniciais sugerem que os ambientes construídos com SB podem encorajar uma mudança, consistente com a atenção plena, visando postura mental mais ativa e engajada, com um foco maior no ambiente atual em relação ao processamento mental interno.

[3] *Walking through Architectural Spaces: The Impact of Interior Forms on Human Brain Dynamics*: o estudo indicou que o movimento natural através do ambiente construído leva a respostas rápidas no ACC, refletindo uma primeira resposta afetiva às características arquitetônicas do ambiente. As formas curvas levam a uma sincronização teta mais forte no ACC e correlacionam-se com classificações positivas mais altas no estado afetivo dos participantes, enquanto o Córtex Cingulado Posterior e o Lobo Occipital estavam envolvidos na percepção de diferentes perspectivas e mudanças nas profundidades da sala. Resulta ainda do estudo que a forma interior é definida não apenas por sua geometria e características (localização, escala, etc.), mas também pelo modo como o usuário vivencia o ambiente. Este estudo lançou uma nova ideia sobre o papel do ACC na experiência natural dos espaços arquitetônicos, considerado o movimento natural como melhor maneira de investigar a dinâmica cerebral subjacente à percepção natural e aos processos afetivos associados à percepção de um ambiente 3D.

A revisão teórica e análise dos artigos percorridos acima, possibilitou conhecimento mais aprofundado sobre métodos e ferramentas para avaliação neurocientífica das emoções humanas através do EEG. Percebe-se que os trabalhos selecionados têm importante contribuição para os estudos da neuroergonomia. Apesar de todos eles usarem métodos similares de análises quantitativa e qualitativa, não é possível identificar um formato padrão e específico na apresentação dos resultados, o que gera uma reflexão para os futuros trabalhos desse campo. A avaliação dos estados afetivos dos indivíduos são questões de grande complexidade, contudo, que podem ser esclarecidos aos poucos, com muito trabalho de investigação e com o avanço da tecnologia, como no caso dos estudos apresentados aqui, que referiram, todos, terem contribuído de forma consistente.



6. Considerações Finais

Apresentam-se como considerações as questões mais relevantes (para a neuroergonomia e o design) sintetizadas dos três artigos expostos anteriormente. O avanço tecnológico se confirma como relevante auxiliando as investigações sobre processos cognitivos do ser humano, possibilitando melhor e mais prático acesso a sua estrutura neurofisiológica, quanto mais desenvolvido se tornam os equipamentos eletrônicos. Os tempos despendidos nos experimentos se tornam uma questão a ser atentada mais sensivelmente, sob pena de inviabilizar o processo de investigação. Outra questão que deve sempre refletir o cuidado da escolha, são as classificações de gênero e a quantidade dos participantes dos experimentos, em concordância com o assunto tratado na pesquisa, possibilitando resultados adequados e relevantes e não, ao contrário, invalidando-os. Por fim, a abordagem bastante técnica dos experimentos aqui selecionados mostra a relevância que trazem para os estudos ergonômicos do ambiente construído, servindo de fundamentação teórico-metodológica para os estudos da ciência da cognição.

7. Referências Bibliográficas

- BAUMANN, M.; KEINATH, A.; KREMS, J.; BENGLER, K. Evaluation of in-vehicle HMI using occlusion techniques: experimental results and practical implications. **Applied Ergonomics**, London, v. 35, n. 3, p. 197-205, maio 2004.
- BANAEI, M., HATAMI, J., YAZDANFAR, A., GRAMANN, K. **Walking through Architectural Spaces: The Impact of Interior Forms on Human Brain Dynamics**. *Frontiers in Human Neuroscience*, vol. 11, 27 Setembro 2017. doi.org/10.3389/fnhum.2017.00477. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnhum.2017.00477>> Acesso em: 16 de julho de 2020.
- BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. **Neurociências: desvendando o sistema nervoso**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017, 974p.
- BIOLCHINI, J.; MIAN, P.; NATALI, A.; CONTE, T.; TRAVASSOS, G. **Scientific research ontology to support systematic review in software engineering**. *Advanced Engineering Informatics*, v. 21, n. 2, p. 133-151, 2007.
- FARIA, Tiago J. F. S. **Interfaces Cérebro-Computador Utilização do Emotiv EPOC para controlar software lúdico**. Dissertação (Mestrado). Instituto Superior de Engenharia do Porto. Porto, 2014.
- HU, M., SIMON, M., FIX, S., VIVINO, A. A., & BERNAT, E. **Exploring a sustainable building's impact on occupant mental health and cognitive function in a virtual environment**. *Scientific reports* vol. 11, 1 5644. 11 Mar. 2021, doi:10.1038/s41598-021-85210-9. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41598-021-85210-9>> Acesso em: 16 de junho de 2021.
- KANDEL, E.R.; SCHWARTZ, J.H.; JESSELL, T.M. **Princípios de Neurociências**. 5ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.
- KIM, S.; PARK, H.; CHOO, S. **Effects of Changes to Architectural Elements on Human Relaxation-Arousal Responses: Based on VR and EEG**. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18, 4305. <https://doi.org/10.3390/ijerph18084305> Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1660-4601/18/8/4305#cite>> Acesso em: 16 de junho de 2021.

LENT, R. **Cem bilhões de neurônios? Conceitos Fundamentais de Neurociência**. 2 ed. São Paulo: Editora Atheneu, 2010, 786p.

MIN-KI KIM, MIYOUNG KIM, EUNMI OH, SUNG-PHIL KIM. **A Review on the Computational Methods for Emotional State Estimation from the Human EEG**. Métodos Computacionais e Matemáticos em Medicina, vol. 2013, Artigo. doi.org/10.1155/2013/573734 Disponível em: <<https://www.hindawi.com/>> Acesso em: 03 de novembro de 2020.

MULROW, C.D. **Systematic reviews rationale for systematic reviews**. British Medical Journal, v.309, pp.597–599, 1994.

PARASURAMAN, R. **Neuroergonomics: research and practice**. Theoretical Issues in Ergonomics Science, v. 4, n 1-2. p 5-20. 2003

PARASURAMAN, Raja & RIZZO, Matthew. **Introduction to Neuroergonomics**. In: PARASURAMAN, Raja & RIZZO, Matthew (Ed.). Neuroergonomics: The Brain at Work. New York: Oxford University Press, Inc, p. 3-11, 2007.

STERNBERG, Robert J. **Psicologia cognitiva**. 4.ed. Porto Alegre: ARTMED, 2008. 494p.

SUHAIMI, Nazmi S.; MOUNTSTEPHENS, James; TEO, Jason. **EEG-Based Emotion Recognition: A State-of-the-Art Review of Current Trends and Opportunities**. Computational Intelligence and Neuroscience, sep 2020. doi: 10.1155/2020/8875426.

VASQUEZ, M.; DE MATTOS, L. M.; BERTOLACCINI, G. S.; LANDIM, P.; PASCHOARELLI, L. C.; MEDOLA, F. O. **Neurociência e Ciências Sociais: uma revisão dos conceitos do Neuromarketing, da Neuroergonomia e do Neurodesign**. In: Anais do 12º congresso P&D 2016. Blucher Design Proceedings, n.2 v.9, outubro, 2016.

YANG KAI, TONG LI, SHU JUN, ZHUANG NING, YAN BIN, ZENG YING. **High Gamma Band EEG Closely Related to Emotion: Evidence From Functional Network**. Frontiers in Human Neuroscience, vol. 14, 24 Março 2020. doi=10.3389/fnhum.2020.00089 Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnhum.2020.00089>> Acesso em: 21 de novembro de 2020.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

