

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI

LAERCIO RIBEIRO DA SILVA JUNIOR

**UM ESTUDO SOBRE MAPEAMENTO CEREBRAL E ANÁLISE DE MOVIMENTOS
OCULARES EM JOGADORES DE XADREZ**

São Bernardo do Campo

2017

LAERCIO RIBEIRO DA SILVA JUNIOR

**UM ESTUDO SOBRE MAPEAMENTO CEREBRAL E ANÁLISE DE MOVIMENTOS
OCULARES EM JOGADORES DE XADREZ**

Dissertação de Mestrado, apresentada ao Centro Universitário da FEI para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica. Orientada pelo Prof. Dr. Carlos Eduardo Thomaz e Coorientada pelo Dr. Fabio Theoto Rocha.

São Bernardo do Campo

2017

Silva Junior, Laercio Ribeiro da.

Um estudo sobre mapeamento cerebral e análise de movimentos oculares em jogadores de xadrez / Laercio Ribeiro da Silva Junior. São Bernardo do Campo, 2017.

133 p. : il.

Dissertação - Centro Universitário FEI.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Thomaz.

Coorientador: Prof. Dr. Fabio Theoto Rocha.

1. Xadrez. 2. Mapa de Sinais Cerebrais. 3. Mapa de Atenção Visual. I. Thomaz, Carlos Eduardo, orient. II. Título.

Aluno: Laercio Ribeiro da Silva Júnior

Matrícula: 115107-5

Título do Trabalho: Um estudo sobre mapeamento cerebral e análise de movimentos oculares em jogadores de xadrez.

Área de Concentração: Processamento de Sinais

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Thomaz

Data da realização da defesa: 16/02/2017

ORIGINAL ASSINADA

Avaliação da Banca Examinadora:

São Bernardo do Campo, 16 / 02 / 2017.

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Eduardo Thomaz

Ass.: _____

Prof. Dr. João Ricardo Sato

Ass.: _____

Prof. Dr. Paulo Sérgio Silva Rodrigues

Ass.: _____

A Banca Julgadora acima-assinada atribuiu ao aluno o seguinte resultado:

APROVADO

REPROVADO

VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO

**APROVO A VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO EM QUE
FORAM INCLUÍDAS AS RECOMENDAÇÕES DA BANCA
EXAMINADORA**

Aprovação do Coordenador do Programa de Pós-graduação

Prof. Dr. Carlos Eduardo Thomaz

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais pelo incentivo e total apoio que me foi dado.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Eduardo Thomaz, pelo apoio, motivação, pelas sugestões, pelas aulas ministradas, pelas oportunidades dadas e por acreditar no meu trabalho.

Aos professores do Centro Universitário da FEI pelo incentivo e pelas aulas ministradas: Prof. Dr. Aldo Artur Belardi, Prof. Dr. Ivandro Sanches, Prof. Dr. Paulo Sergio Silva Rodrigues, Prof. Dr. Plinio Thomaz Aquino Junior e Profa. Dra. Maria Claudia Ferrari de Castro.

Ao Dr. Fabio Theoto Rocha pelas aulas, sugestões e ajuda até o presente momento.

Ao meu amigo desde o curso de graduação Me. Isaac Jesus da Silva que me incentivou a iniciar o curso de mestrado e que muito me ajudou durante esse período.

Ao Me. Fábio Henrique Gonçalves Cesar pelo auxílio durante todo o processo.

Agradeço à CAPES pela bolsa de estudos de mestrado.

“The dictionary is the only place where success comes before work. Hard work is the price we must all pay for success.”

Vince Lombardi

RESUMO

Atualmente, com os avanços tecnológicos, é possível cada vez mais desvendar os processos cognitivos humanos. Por essa razão, vários estudos foram realizados ao longo dos anos dentro do contexto do xadrez a fim de agregar conhecimento sobre essa atividade mental complexa, utilizando as mais diversas técnicas de aquisição de sinais disponíveis. O objetivo principal desta dissertação é comparar as ativações cerebrais e o foco da atenção visual em jogadas de xadrez entre diferentes grupos de proficiência enxadrística por meio da análise de sinais de eletroencefalografia e *eye-tracking*. Tais técnicas de aquisição de sinais ainda não foram utilizadas de forma conjunta nesse campo de pesquisa, embora sejam complementares para revelar informações acerca do conhecimento humano. Experimentos foram realizados envolvendo 51 questões relacionadas ao jogo de xadrez, separadas nas seguintes 5 categorias: (1) reconhecimento de peças e posicionamento; (2) reconhecimento de situações de xeque; (3) reconhecimento de situações de xeque-mate; (4) possibilidade de xeque-mate em um lance; e (5) conhecimento de jogadas e possibilidade de captura de peças. Um total de 32 voluntários contribuíram para esses experimentos, dentre os quais participaram jogadores profissionais de xadrez com ranking ELO (4 voluntários), professores de xadrez (4), crianças em idade escolar que eram competidoras de um campeonato de xadrez estadual (4) e voluntários que não tinham prática contínua em xadrez (20). Todos foram avaliados por meio de uma métrica baseada na acurácia e no tempo médio de resposta. Os resultados obtidos para cada categoria de questões mostram que, no geral, o grupo mais proficiente tem maior assertividade nas respostas e demandam menos tempo para solucionar os problemas de xadrez e o grupo menos proficiente apresenta maior dispersão da atenção visual e ativações neurais voltadas essencialmente concentradas em áreas relacionadas ao processamento visual.

Palavras-chave: Xadrez. Mapa de Sinais Cerebrais. Mapa de Atenção Visual.

ABSTRACT

Currently, with technological advances, it is possible to disclose increasingly the human cognitive process. For this reason, several studies have been performed over the years within the context of chess in order to aggregate knowledge about this complex mental activity using a number of signal acquisition techniques available. The main objective of this dissertation is to compare the brain signals and the focus of visual attention on chess tasks between different groups of chess proficiency through the analysis of electroencephalography and eye-tracking. Such signal acquisition techniques have not yet been used together in this research field, although they are complementary to reveal information about human knowledge. Experiments have been carried out involving 51 questions related to the chess game, separated into the following 5 categories: (1) object recognition and positioning; (2) possibility of check; (3) possibility of check-mate; (4) possibility of check-mate in one move and; (5) rule retrieval and possibility of pieces capture. A total of 32 volunteers contributed to these experiments, including professional chess players with ELO rating (4 volunteers), chess teachers (4), schoolchildren who competed in a state chess championship (4), and volunteers who did not have continuous chess practice (20). All of them were evaluated using a metric based on the accuracy and average response time. The results obtained for each category of questions show that, in general, the most proficient group has higher assertiveness in the answers and requires less time to solve the chess problems, and the less proficient group presents a larger dispersion of the visual attention and the neural activations concentrated essentially on areas related to visual processing.

Keywords: Chess. Brain Signals Map. Visual Attention Map.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Divisão do Sistema Nervoso.	30
Figura 2 – Lobos Cerebrais.	32
Figura 3 – Lobo frontal e região pré-frontal.	32
Figura 4 – Funcionamento da Tomografia Computadorizada.	34
Figura 5 – Passos para formação da imagem em PET e SPECT.	35
Figura 6 – Atividade Sináptica.	38
Figura 7 – Esquema de colocação dos eletrodos no sistema 10-20.	39
Figura 8 – Imagem formada na retina.	40
Figura 9 – Vias visuais.	41
Figura 10 – Músculos do olho humano.	41
Figura 11 – Posicionamento da lente escleral.	43
Figura 12 – Posicionamento dos eletrodos na técnica EOG.	44
Figura 13 – Brilho da córnea com diferentes fixações.	45
Figura 14 – Diagrama de funcionamento da VOG.	46
Figura 15 – Comparativo entre técnicas de mapeamento cerebral.	47
Figura 16 – Equipamento OpenBCI.	47
Figura 17 – Comparativo entre técnicas de rastreamento de movimento ocular.	48
Figura 18 – Equipamento Tobii Pro TX300.	49
Figura 19 – Toucas de eletrodos para EEG.	57
Figura 20 – Posicionamento dos eletrodos.	58
Figura 21 – Posicionamento do voluntário em relação ao equipamento de rastreamento do movimento ocular.	59
Figura 22 – Realização dos experimentos por um voluntário.	60
Figura 23 – Exemplo de questão e seu respectivo tabuleiro.	61
Figura 24 – Exemplo de sintetização dos canais de EEG.	63
Figura 25 – Máscara de pontos.	66
Figura 26 – Categoria 1.	69
Figura 27 – Mapas de atenção visual para a questão 1 da categoria 1.	71
Figura 28 – Mapas de atenção visual para a questão 8 da categoria 1.	72
Figura 29 – Mapas de sinais cerebrais para a categoria 1.	73
Figura 30 – Categoria 2.	75
Figura 31 – Mapas de atenção visual para a questão 17 da categoria 2.	76
Figura 32 – Mapas de atenção visual para a questão 50 da categoria 2.	77
Figura 33 – Mapas de sinais cerebrais para a categoria 2.	78
Figura 34 – Categoria 3.	80
Figura 35 – Mapas de atenção visual para a questão 30 da categoria 3.	81
Figura 36 – Mapas de atenção visual para a questão 44 da categoria 3.	82

Figura 37 – Mapas de sinais cerebrais para a categoria 3.	83
Figura 38 – Categoria 4.	85
Figura 39 – Mapas de atenção visual para a questão 16 da categoria 4.	86
Figura 40 – Mapas de atenção visual para a questão 32 da categoria 4.	87
Figura 41 – Mapas de sinais cerebrais para a categoria 4.	88
Figura 42 – Categoria 5.	90
Figura 43 – Mapas de atenção visual para a questão 31 da categoria 5.	91
Figura 44 – Mapas de atenção visual para a questão 48 da categoria 5.	92
Figura 45 – Mapas de sinais cerebrais para a categoria 5.	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo das técnicas de aquisição de sinais em xadrez nas últimas décadas. . .	56
Tabela 2 – Categorias do questionário de classificação.	61
Tabela 3 – Ordenação dos voluntários.	68

LISTA DE ALGORITMOS

Algoritmo 1 – Algoritmo para geração do mapa de sinais cerebrais.	64
Algoritmo 2 – Algoritmo para geração do mapa de atenção visual.	66

LISTA DE ABREVIATURAS

EEG	Electroencephalography - Encefalografia.
EOG	Electro-oculography - Eletro-oculografia.
FA	Factor Analysis - Análise Fatorial.
fMRI	Functional Magnetic Resonance Imaging - Ressonância Magnética Funcional.
MEG	Magnetoencephalography - Magnetoencefalografia.
MRI	Magnetic Resonance Imaging - Ressonância Magnética.
PCA	Principal Components Analysis - Análise de Componentes Principais.
PET	Positron Emission Tomography - Tomografia por Emissão de Pósitron.
SNC	Sistema Nervoso Central.
SNP	Sistema Nervoso Periférico.
SPECT	Single Photon Emission Computadorized Tomography - Tomografia Computadorizada por Emissão de Fóton Único.
VOG	Video-oculography - Vídeo-oculografia.

LISTA DE SÍMBOLOS

$c_{i,j}$	correlação entre dois canais distintos.
$h(c_i)$	entropia de um canal i .
$h(c_{i,j})$	entropia da correlação entre dois canais distintos.
H_s	proficiência em xadrez do voluntário s .
k	tamanho da janela para filtrar os dados.
N	número de questões apresentadas no experimento.
p	nível de significância.
P_i	valor i ausente contíguo no vetor.
P_j	valor j no vetor de pontos.
P_{j-n}	valor da n ésima posição anterior no vetor.
P_n	valor n do ponto imediatamente seguinte aos pontos ausentes.
P_s	valor s do ponto imediatamente anterior aos pontos ausentes.
RT_m	tempo de resposta médio de todos os participantes em todas as questões.
RT_s	tempo médio de resposta do voluntário s .
W	vetor de pesos.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	27
1.1	OBJETIVO	28
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	28
2	CONCEITOS FUNDAMENTAIS	29
2.1	IMPORTÂNCIA DO XADREZ	29
2.2	ANATOMIA CEREBRAL	30
2.2.1	Lobo Frontal	31
2.2.2	Lobo Temporal	32
2.2.3	Lobo Parietal	33
2.2.4	Lobo Occipital	33
2.3	TÉCNICAS DE MAPEAMENTO CEREBRAL	33
2.3.1	Tomografia Computadorizada	33
2.3.2	PET e SPECT	34
2.3.3	Ressonância Magnética	35
2.3.4	Magnetoencefalografia	36
2.3.5	Eletroencefalografia	37
2.4	CONCEITOS SOBRE O OLHO HUMANO	40
2.4.1	Movimento ocular	40
2.5	TÉCNICAS DE RASTREAMENTO DO MOVIMENTO OCULAR	42
2.5.1	Lente escleral	42
2.5.2	Eletro-oculografia	43
2.5.3	Vídeo-oculografia	44
2.6	CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS	45
3	TRABALHOS RELACIONADOS	51
3.1	ESTADO DA ARTE	51
3.2	CONSIDERAÇÕES COMPLEMENTARES	55
4	MATERIAIS E MÉTODOS	57
4.1	MATERIAIS	57
4.1.1	Aquisição dos Sinais Cerebrais	57
4.1.2	Aquisição dos Movimentos Oculares	58
4.2	Participantes	58
4.3	Tarefas e Estímulos	59
4.4	Processamento dos Sinais	61
4.4.1	Processamento dos Sinais Cerebrais	62
4.4.2	Processamento dos Dados de Movimento Ocular	64

5	RESULTADOS	67
5.1	CLASSIFICAÇÃO DOS PARTICIPANTES	67
5.2	COMPARAÇÃO ENTRE GRUPOS	67
5.2.1	Categoria 1: Reconhecimento de peças e posicionamento	68
5.2.1.1	<i>Mapas de Atenção Visual</i>	70
5.2.1.2	<i>Mapas de Sinais Cerebrais</i>	70
5.2.2	Categoria 2: Reconhecimento de situações de xeque	74
5.2.2.1	<i>Mapas de Atenção Visual</i>	74
5.2.2.2	<i>Mapas de Sinais Cerebrais</i>	74
5.2.3	Categoria 3: Reconhecimento de situações de xeque-mate	79
5.2.3.1	<i>Mapas de Atenção Visual</i>	79
5.2.3.2	<i>Mapas de Sinais Cerebrais</i>	79
5.2.4	Categoria 4: Possibilidade de xeque-mate em um lance	84
5.2.4.1	<i>Mapas de Atenção Visual</i>	84
5.2.4.2	<i>Mapas de Sinais Cerebrais</i>	84
5.2.5	Categoria 5: Conhecimento de jogadas e possibilidade de captura de peças	89
5.2.5.1	<i>Mapas de Atenção Visual</i>	89
5.2.5.2	<i>Mapas de Sinais Cerebrais</i>	93
6	CONCLUSÃO	95
	REFERÊNCIAS	97
	APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO	105
	ANEXO A – QUESTÕES DO TESTE DE PROFICIÊNCIA	107

1 INTRODUÇÃO

Existem diversos jogos que são utilizados em pesquisas científicas e, particularmente, no jogo de xadrez, a aquisição de conhecimento torna-se possível por meio de um processo de aprendizagem e codificação de informação visual e cognitiva. Por exemplo, para se tornar um grande mestre em xadrez, uma pessoa deve estudar e praticar por pelo menos dez anos para aprender e memorizar uma quantidade expressiva de padrões de jogadas e não apenas movimentos individuais de peças (HYÖTYNIEMI; SAARILUOMA, 1999; AMIDZIC et al., 2001; ROSS, 2006; CALDERWOOD; KLEIN; CRANDALL, 1988).

Vários experimentos foram realizados dentro do ambiente do xadrez utilizando técnicas de mapeamento cerebral como Tomografia por Emissão de Póstron (PET), Tomografia Computadorizada por Emissão de Fóton Único (SPECT), magnetoencefalografia, tomografia computadorizada e ressonância magnética, funcional (fMRI) e estrutural (MRI), que trouxeram várias informações a respeito da cognição humana com relação à prática de xadrez (HÄNGGI et al., 2014; DUAN et al., 2014; KAZEMI; YEKTAYAR; ABAD, 2012; AMIDZIC et al., 2001; NICHELLI et al., 1994). Porém, poucos foram os trabalhos realizados utilizando a eletroencefalografia como recurso para captar as variações elétricas do cérebro (F. ROCHA et al., 2016; WRIGHT et al., 2013; VOLKE et al., 2002). Analogamente, estudos sobre movimentos oculares (*eye-tracking*) em jogos de xadrez têm sido publicados mostrando diferenças no comportamento entre especialistas e não especialistas, onde foi constatado que enxadristas com maior proficiência fixam seus olhares em regiões mais importantes do tabuleiro e conseqüentemente têm desempenho superior nesse tipo de tarefa (SHERIDAN; REINGOLD, 2015; REINGOLD; SHERIDAN, 2011; BLIGNAUT; BEELDERS; SO, 2008; REINGOLD et al., 2001).

Apesar dos vários experimentos realizados nessa área, ainda não se tem completo domínio sobre o funcionamento cerebral e do movimento ocular para solucionar problemas nesse campo. Uma proposta mais recente é que o xadrez possa ser utilizado como uma atividade cognitiva para o desenvolvimento de habilidades mentais superiores para aprimoramento do conhecimento e aprendizado educacional (F. ROCHA et al., 2016). Bilalić et al. (2011a) e Bilalić et al. (2010) utilizaram de forma conjunta técnicas de fMRI com o objetivo de analisar de forma mais ampla padrões cognitivos e visuais entre grupos de proficiência distintas.

O desenvolvimento desse trabalho foi motivado pela possibilidade de contribuir com o conhecimento existente nessa área através da realização de experimentos para identificar padrões cognitivos humanos na realização de tarefas enxadrísticas, utilizando-se técnicas de EEG e *eye-tracking*. Tais técnicas ainda não foram utilizadas de forma conjunta nesse campo de pesquisa, embora sejam complementares para adquirir e revelar informações acerca do conhecimento humano.

1.1 OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho é comparar as ativações cerebrais e o foco da atenção visual em jogadas de xadrez entre diferentes grupos de proficiência. Mais especificamente, pretende-se:

- a) aperfeiçoar a ferramenta computacional de aquisição de forma síncrona os sinais de eletroencefalografia e rastreamento ocular;
- b) realizar experimentos com voluntários com diferentes níveis de experiência em xadrez para aquisição dos sinais;
- c) analisar os movimentos oculares e os sinais de eletroencefalografia de enxadristas com diferentes níveis de experiência.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em 6 capítulos. No capítulo 2, será apresentado um embasamento teórico para compreensão dos tópicos abordados neste trabalho. No capítulo seguinte, capítulo 3, são mostrados estudos relacionados ao trabalho proposto. A seguir, no capítulo 4, são descritos os materiais e métodos utilizados nos experimentos. No capítulo 5, são relatados em detalhes os resultados. Por fim, no capítulo 6, é feita a conclusão da presente dissertação e são apresentadas possibilidades de trabalhos futuros.

2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Este capítulo apresenta os fundamentos dos tópicos que são abordados neste trabalho e está dividido em seis seções: importância do xadrez, anatomia cerebral, técnicas de mapeamento cerebral, conceitos sobre o olho humano, técnicas de rastreamento do movimento ocular e considerações adicionais. Na primeira seção serão abordados tópicos sobre a importância de se trabalhar dentro do ambiente de xadrez. Na seção seguinte, serão descritas sucintamente a visão geral e principais funções dos lobos cerebrais. Na próxima seção, serão mostradas as técnicas mais utilizadas para mapeamento cerebral cognitivo. Em seguida, serão abordados as principais partes da anatomia do olho humano que são responsáveis pelo processo da visão. Na seção seguinte, serão abordadas as principais técnicas para rastreamento do movimento ocular. Por fim, na última seção deste capítulo, são feitas considerações a respeito do conteúdo apresentado neste capítulo.

2.1 IMPORTÂNCIA DO XADREZ

Jogos de tabuleiro podem ser caracterizados como jogos que utilizam regras fixas e possuem peças que são movimentadas e interagem entre si em um tabuleiro (GOBET; RETSCHITZKI; VOOGT, 2004). Jogos de tabuleiro vêm sendo utilizados como objeto de estudo em diversos experimentos, em que é possível comparar diferenças cognitivas entre jogadores com maior e menor proficiência.

Dentre os mais diversos jogos, o xadrez é muito utilizado para experimentos científicos desde meados do século XX (DAVIS et al., 1973). Trabalhar dentro do ambiente do xadrez tem vantagens como a facilidade de transferir as informações para o ambiente matemático ou linguagens computacionais, flexibilidade que permite a utilização de diferentes tarefas e estímulos relacionados ao xadrez, existe um grande histórico de partidas que pode ser utilizado para análises estatísticas e permite trabalhar com jogadores com diferentes níveis de habilidade para analisar o processo cognitivo (GOBET, 1998).

Para pesquisas em neurociência cognitiva outro fato importante que existe é a comunicação entre enxadristas sobre seus pensamentos através de análises de partidas já realizadas, algo relevante, já que é muito difícil as pessoas verbalizarem seus pensamentos (SAARILUOMA, 1995).

Outra vantagem do uso do xadrez é o método de separação entre os possíveis voluntários da pesquisa. Os enxadristas são separados em grupos de acordo com sua proficiência na área, utilizando a ferramenta ELO¹, usada mundialmente, fazendo com que experimentos realizados nesse campo possam ser replicados utilizando-se os mesmos parâmetros (GOBET, 1998).

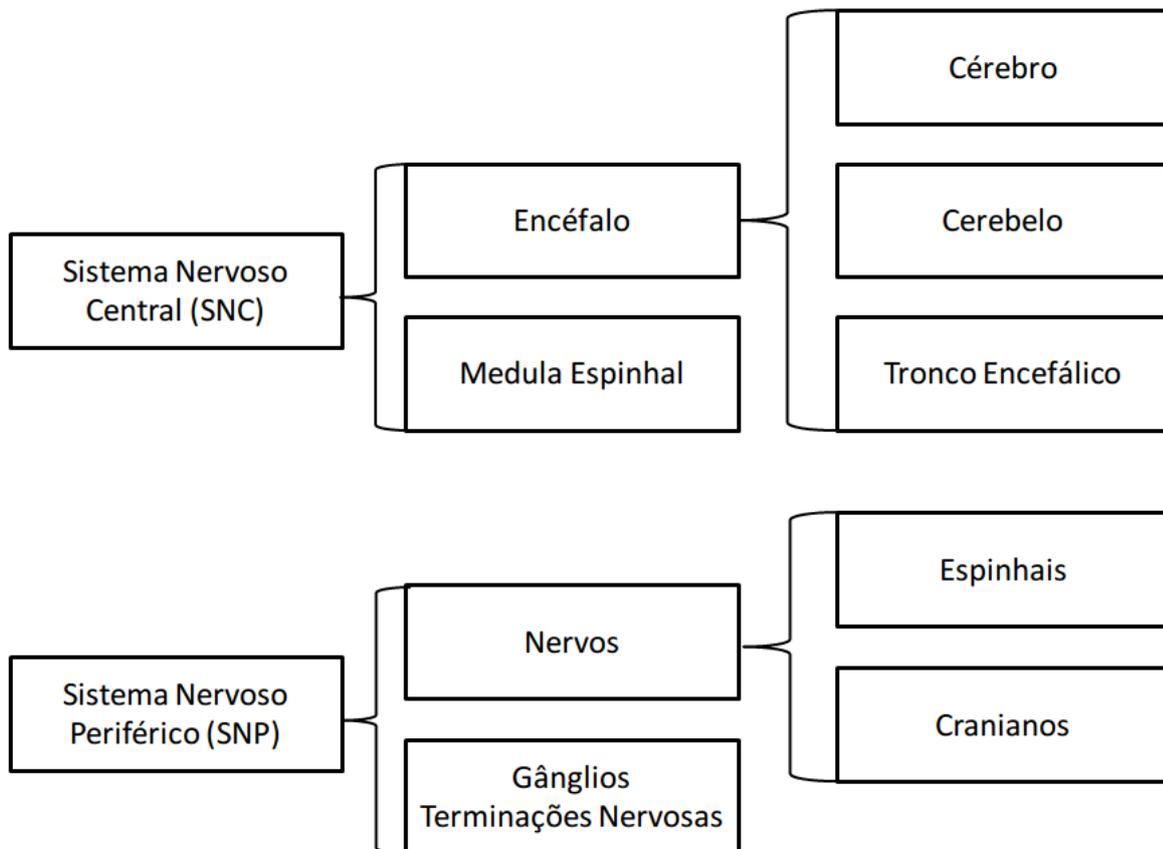
¹O ranking ELO é um método mundialmente reconhecido pelas federações de xadrez que classifica os enxadristas de acordo com seu desempenho em competições oficiais.

Estudos mostram que a prática do jogo de xadrez para estudantes de diferentes idades melhora a habilidade dos mesmos em resolver problemas matemáticos, além de aumentar as habilidades meta-cognitivas (KAZEMI; YEKTAYAR; ABAD, 2012). Por ser uma plataforma que oferece grande complexidade devido à quantidade de possibilidades a serem realizadas no jogo, o xadrez é utilizado em experimentos para mapeamento cerebral cognitivo (SAARILUOMA, 1995).

2.2 ANATOMIA CEREBRAL

De forma didática, o sistema nervoso humano pode ser dividido em duas partes: Sistema Nervoso Central (SNC) e Sistema Nervoso Periférico (SNP). O SNC funciona como o centro de controle do sistema nervoso, processa informação, realiza tomadas de decisão e as envia para o restante do corpo. O SNP inclui todos os tecidos nervosos fora do SNC e o conecta com os outros sistemas e órgãos dos sentidos (MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH, 2009; MACHADO; CAMPOS, 2005). A Figura 1 mostra a divisão do sistema nervoso.

Figura 1 – Divisão do Sistema Nervoso.



Fonte: Autor “adaptado de” Machado; Campos, 2005, p.11

Como visto na Figura 1 o SNC pode ser dividido em duas partes: encéfalo e medula espinhal. O encéfalo pode ser dividido em três partes: cérebro, cerebelo e tronco encefálico. O

cérebro, que servirá como base do estudo realizado, é a maior parte do encéfalo e é o lugar onde originam-se o processamento consciente do pensamento, funções intelectuais, armazenamento e recuperação da memória, e onde determinam-se reações do organismo e padrões motores complexos (MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH, 2009; Arthur Clifton GUYTON; HALL; Arthur C GUYTON, 2006).

O cérebro pode ser dividido em dois hemisférios e, na camada mais externa de cada hemisfério encontra-se o córtex cerebral, que tem a função de armazenar superfícies corticais, o que diminui a distância entre os neurônios e, conseqüentemente, diminui o tempo de comunicação entre neurônios de diferentes áreas. Nessa região são realizadas atividades elétricas espontâneas, que podem ser detectadas colocando-se eletrodos em sua superfície ou no próprio crânio (eletroencefalografia, (EEG)) (KANDEL et al., 2014; GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009; MACHADO; CAMPOS, 2005).

O córtex cerebral pode ser dividido de acordo com a microanatomia dos tipos de células, como elas se organizam e laminação cortical, ou seja, de acordo com sua citoarquitetura. A divisão mais usada foi feita pelo neurologista Korbinian Brodmann, a qual leva seu nome (KANDEL et al., 2014; MARTIN, 2014; GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009; MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH, 2009; MACHADO; CAMPOS, 2005).

O córtex cerebral também pode ser dividido em quatro lobos cerebrais, esses lobos têm seus nomes derivados dos ossos com os quais se relacionam, são eles: lobo frontal, lobo temporal, lobo parietal e lobo occipital. Cada um dos lobos contém áreas funcionais que não são precisamente definidas, pois os limites contém considerável superposição, sendo que cada lobo pode exercer diversas funções (MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH, 2009; MACHADO; CAMPOS, 2005). A Figura 2 mostra a separação dos lobos cerebrais, analisado através de uma vista sagital na imagem do cérebro.

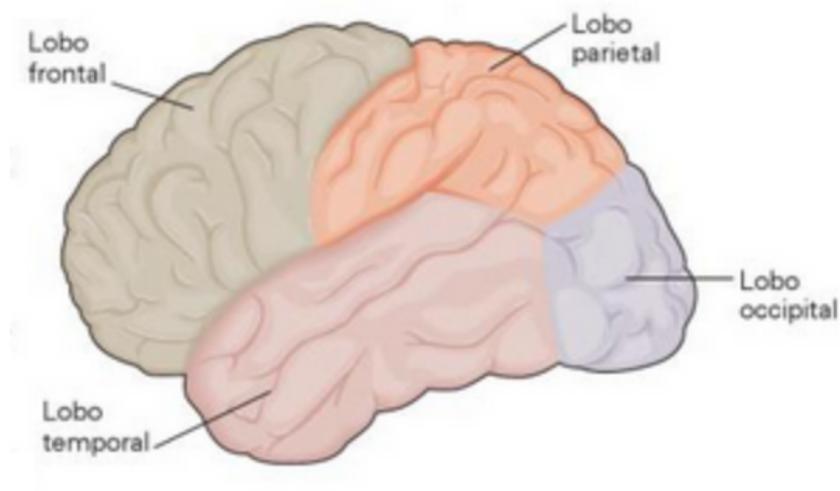
2.2.1 Lobo Frontal

O lobo frontal tem participação na movimentação dos músculos responsáveis pelos movimentos oculares e de outros músculos do corpo de forma voluntária, desempenha funções no aprendizado, memória a curto prazo e raciocínio, além de envolver por exemplo, a área de Broca, área essencial para articulação da fala. O lobo frontal tem duas subdivisões principais, córtex motor e córtex pré-frontal² (MARTIN, 2014; GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009; KAY; TASMAN; LIEBERMAN, 2002; DE OLIVEIRA, 2001).

O córtex motor tem como principal função o controle consciente dos músculos esqueléticos, enquanto o córtex pré-frontal, localizado anteriormente às áreas motoras e pré-motoras, desempenha funções comportamentais como cognições, emoções e pensamento, além de ser

²Em neuroanatomia, o prefixo “pré” significa “na frente de”

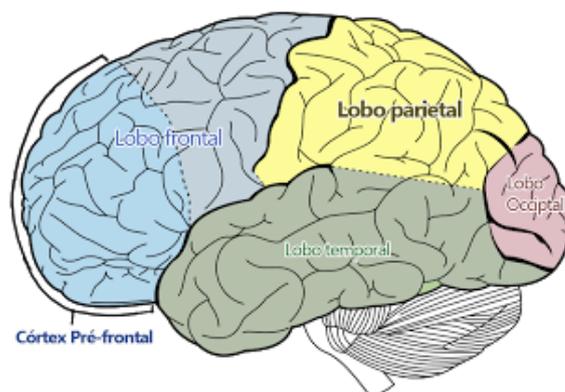
Figura 2 – Lobos Cerebrais.



Fonte: Autor “adaptado de”Kandel et al., 2014, p.9

importante para atenção, motivação e resolução de problemas (MARTIN, 2014; KAY; TASMANN; LIEBERMAN, 2002). A Figura 3 mostra a região pré-frontal e o lobo frontal.

Figura 3 – Lobo frontal e região pré-frontal.



Fonte: Hennemann, 2012

2.2.2 Lobo Temporal

O lobo temporal tem relação com a percepção de estímulos como o olfato e a audição, relaciona-se com as emoções e memória juntamente com o lobo frontal e sistema límbico e envolve por exemplo a área de Wernicke que é uma área importante para o reconhecimento e interpretação da palavra (MARTIN, 2014; MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH, 2009; KAY; TASMANN; LIEBERMAN, 2002; DE OLIVEIRA, 2001).

2.2.3 Lobo Parietal

O lobo parietal, também conhecido como área somestésica, está relacionado com a percepção do tato, dor, vibração, pressão, temperatura, paladar e a parte inferior do lobo parietal é próxima à área de Broca e área de Wernicke relacionando-se com as mesmas. (MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH, 2009; KAY; TASMAN; LIEBERMAN, 2002; DE OLIVEIRA, 2001).

2.2.4 Lobo Occipital

O lobo occipital se liga diretamente ou indiretamente aos órgãos visuais, relacionando-se com a percepção de estímulos visuais fazendo com que seja possível identificar-se forma, tamanho e cor de objetos (MARTIN, 2014; MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH, 2009; DE OLIVEIRA, 2001).

2.3 TÉCNICAS DE MAPEAMENTO CEREBRAL

A utilização de técnicas de mapeamento de atividade cerebral representa um grande avanço para pesquisas em neurociência cognitiva, permitindo-se estudar o comportamento cerebral e analisar dados de funções cognitivas complexas (GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009; KRISTENSEN; ALMEIDA; GOMES, 2001). A seguir serão mostradas as principais técnicas de mapeamento cerebral.

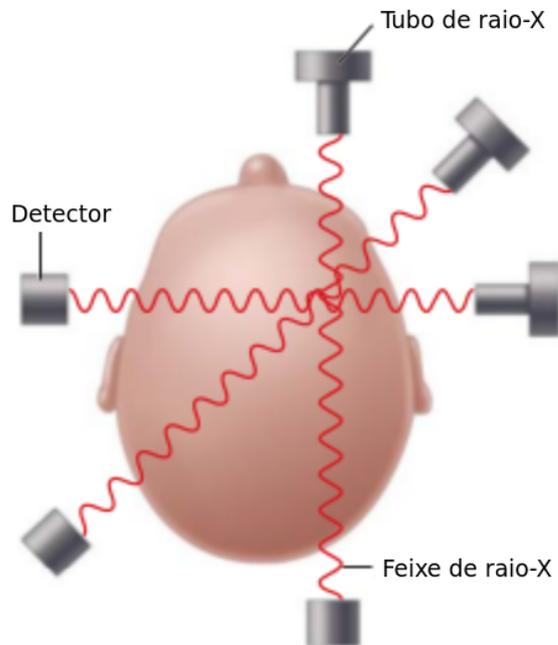
2.3.1 Tomografia Computadorizada

A tomografia computadorizada (TC) é uma técnica que foi introduzida comercialmente em 1983 e ainda hoje é muito utilizada para obter-se imagens estruturais do cérebro (GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009).

A TC é uma técnica não-invasiva que baseia-se na emissão de radiação eletromagnética de alta frequência (raio-X), emitida de várias direções por tubos e sendo capturadas por um detector conforme visto na Figura 4. O emissor e o detector de raio-X são posicionados em direções opostas que faz um movimento circular em volta da cabeça do voluntário da pesquisa para obter-se todas as projeções possíveis (GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009; FONTES; FUKUJIMA; CARDEAL, 2007; KAY; TASMAN; LIEBERMAN, 2002).

Devido a diferença de densidade de cada um dos tecidos encontrados no cérebro, a absorção de raio-X por cada um deles é diferente. Quanto maior a densidade maior é a absorção, consequentemente, o detector receberá diferentes níveis de radiação, transformando-a em sinal elétrico que posteriormente é convertido em imagens que são correspondentes às secções do crânio, onde as partes com maior densidade como os ossos são mostradas com cores mais

Figura 4 – Funcionamento da Tomografia Computadorizada.



Fonte: Autor “adaptado de” Gazzaniga; Ivry; Mangun, 2009, p.92

claras e partes com menor densidade como o sangue são mostradas com cores mais escuras. (GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009; KAY; TASMAN; LIEBERMAN, 2002).

2.3.2 PET e SPECT

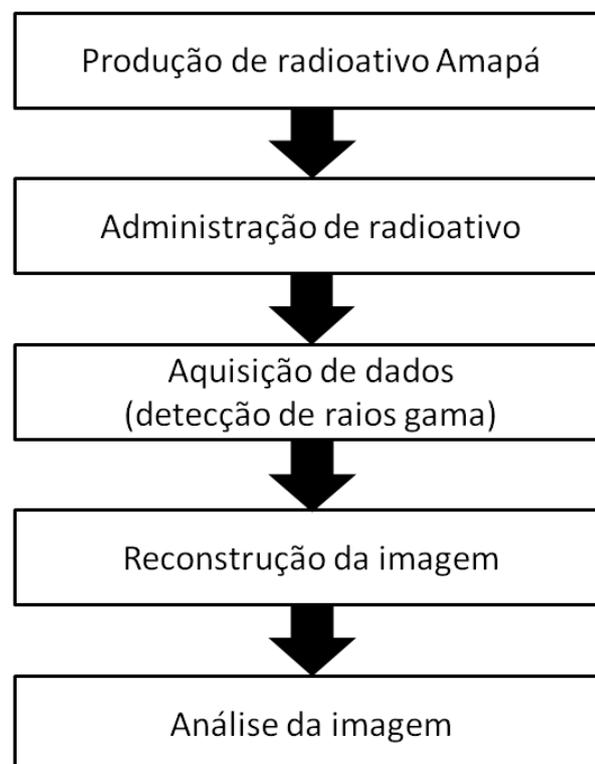
O Positron Emission Tomography (PET) e o Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT) são duas das principais técnicas de imagem médica que utilizam radiação para geração de imagens do corpo humano. A radiação é emitida em forma de raios gamma, não visíveis aos olhos humanos, e captadas com um equipamento apenas receptor de raios gamma (WERNICK; AARSVOLD, 2004).

O PET e o SPECT são técnicas que não medem a atividade elétrica cerebral diretamente, elas medem a atividade neural de maneira indireta através da alteração metabólica, que no caso do cérebro é a medição da variação do fluxo sanguíneo (GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009; WERNICK; AARSVOLD, 2004).

Para medir a atividade neural do cérebro utilizando essas técnicas é necessário injetar no sujeito da pesquisa um radiofármaco marcado através de sua corrente sanguínea, no caso de pesquisas cognitivas, o radiofármaco mais utilizado é a forma instável do oxigênio com meia vida de 123 segundos (GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009; WERNICK; AARSVOLD, 2004; COSTA; OLIVEIRA; BRESSAN, 2001).

Os radiofármacos funcionam no organismo da mesma maneira que um elemento não radioativo, porém devido as suas propriedades podem ser detectados através de sua emissão, pósitron no caso de PET e fóton no caso do SPECT, utilizando-se um detector de raios gamma. Como esses elementos estão na corrente sanguínea, é possível reconstruir a imagem do cérebro baseada no fluxo sanguíneo, sendo que onde houver maior fluxo sanguíneo haverá mais radiação. Após a detecção dos raios gamma emitidos em várias direções, a imagem é reconstruída através de todos os *slices* das imagens em 2-D formando-se assim uma imagem 3-D (GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009; WERNICK; AARSVOLD, 2004). A Figura 5 mostra os passos para formação da imagem.

Figura 5 – Passos para formação da imagem em PET e SPECT.



Fonte: Autor “adaptado de”Wernick; Aarsvold, 2004, p.14

2.3.3 Ressonância Magnética

A ressonância magnética (MRI - Magnetic Resonance Imaging) utiliza as propriedades magnéticas do corpo humano para gerar imagens. O hidrogênio, átomo presente em todo o organismo e os prótons que formam seu núcleo estão em constante movimento, girando em torno de seu próprio eixo gerando-se assim um campo magnético que não é influenciado pelo campo magnético da Terra (GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009; ATLAS, 2009; AMARO JÚNIOR; YAMASHITA, 2001).

Em um estado normal, os átomos de hidrogênio estão distribuídos aleatoriamente, porém, quando estão sob influência de um alto campo magnético seus prótons se movem na direção paralela ao campo magnético gerado pelo equipamento de MRI (GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009; ATLAS, 2009; AMARO JÚNIOR; YAMASHITA, 2001).

Após o átomo de hidrogênio estar sob influência de um campo magnético ele vibra em uma frequência proporcional ao campo magnético aplicado e, posteriormente, o equipamento de MRI emite uma onda de rádio com frequência igual a vibração do átomo, deixando-o instável por causa da energia absorvida, fazendo com que a orientação que o átomo tinha seja alterada para uma direção já prevista (GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009; ATLAS, 2009; AMARO JÚNIOR; YAMASHITA, 2001).

Quando a emissão da onda de rádio é suspensa, o *spin* dos átomos retorna ao alinhamento anterior, liberando a energia que foi absorvida que é captada pelo equipamento de MRI, que fica em volta do voluntário da pesquisa, determinando-se a sua posição e intensidade, podendo assim reconstruir a imagem do cérebro (GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009; ATLAS, 2009; AMARO JÚNIOR; YAMASHITA, 2001).

Existe um outro tipo de ressonância magnética, a ressonância magnética funcional (fMRI - Functional Magnetic Resonance Imaging), que assim como o MRI, é uma técnica baseada nas propriedades magnéticas dos átomos, porém utiliza-se a hemoglobina ao invés do hidrogênio, através do princípio da oxigenação sanguínea (GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009; AMARO JÚNIOR; YAMASHITA, 2001).

Quando há maior atividade neural, existe um aumento do fluxo sanguíneo e de oxigênio no cérebro, gerando a oxi-hemoglobina (concentração de hemoglobina saturada com oxigênio), que possui diferentes características da desoxi-hemoglobina (hemoglobina não saturada). O equipamento de fMRI mede a relação entre a oxi-hemoglobina e a desoxi-hemoglobina chamada de BOLD (blood oxygenation level-dependent) (GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009; AMARO JÚNIOR; YAMASHITA, 2001).

2.3.4 Magnetoencefalografia

A magnetoencefalografia (MEG) é uma técnica não-invasiva de neuroimagem que mede diretamente a atividade elétrica cerebral através da variação do campo magnético gerado pelo cérebro. Devido a suas características de resolução espacial e temporal, a magnetoencefalografia é muito utilizada tanto para pesquisas científicas quanto para análises clínicas (HANSEN; KRINGELBACH; SALMELIN, 2010; GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009).

O campo magnético gerado pela atividade neural do cérebro é muito baixo, muito menor que o campo magnético da Terra, fazendo com que seja necessário utilizar um detector de campo magnético muito sensível, chamado de SQUID (Superconducting Quantum Interference

Device) e um circuito eletrônico para captar o campo magnético, que ficam posicionados em torno da cabeça do voluntário da pesquisa (HANSEN; KRINGELBACH; SALMELIN, 2010).

Além dos equipamentos utilizados, também se faz uso do procedimento de ERF (Event-Related Fields), que serve para extrair as informações relacionadas a uma função específica dentro das ativações globais do cérebro. Os dados que são obtidos antes de um estímulo externo é relacionado com a área sensorial referente ao estímulo. Os dados obtidos após o estímulo é referente ao córtex associativo, fazendo com que seja possível analisar a atividade cerebral cognitiva em tempo real (HANSEN; KRINGELBACH; SALMELIN, 2010; GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009).

2.3.5 Eletroencefalografia

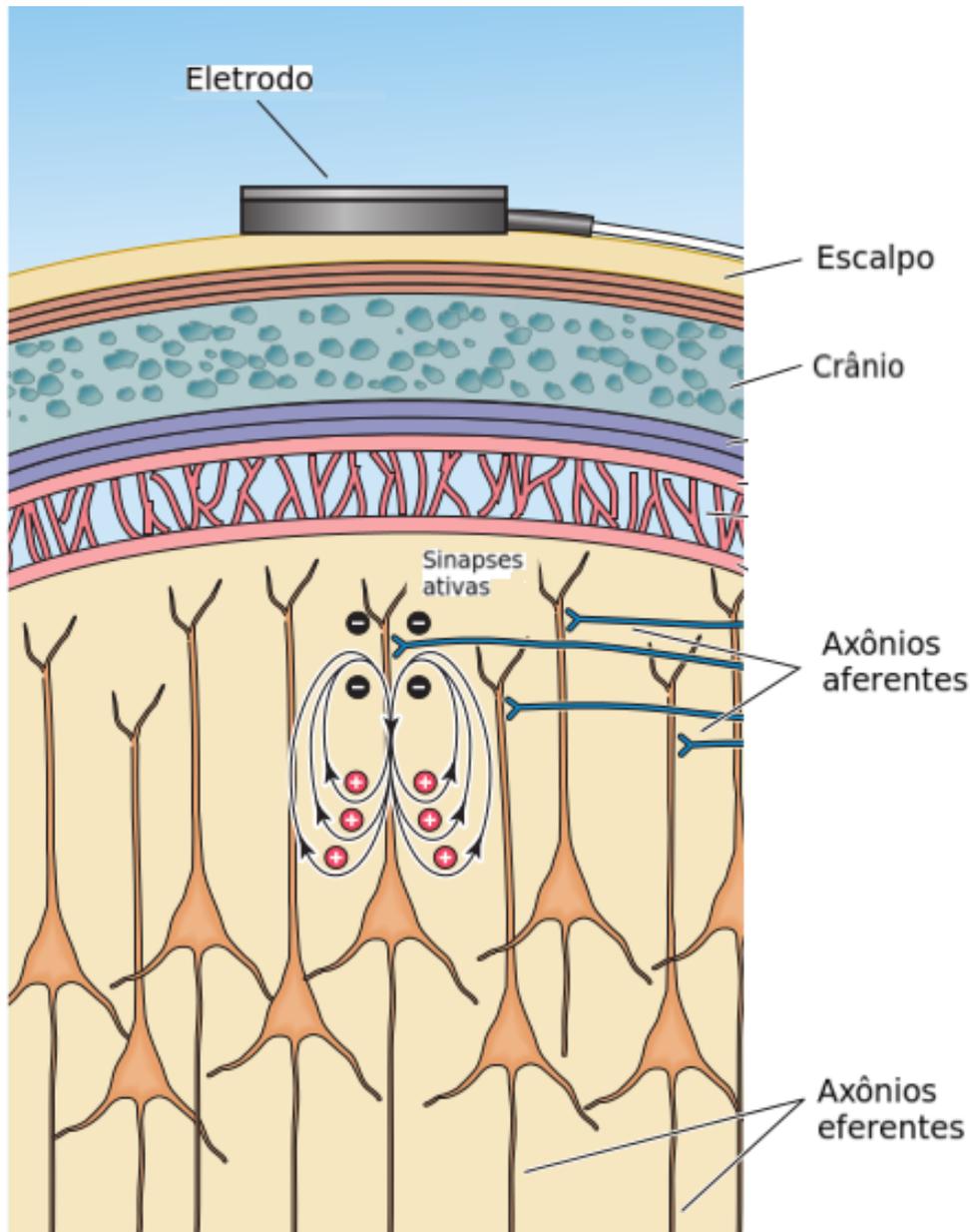
A eletroencefalografia (EEG) é muito utilizada tanto para área medicinal para estudo e diagnóstico de várias doenças neurológicas e neuropsiquiátricas quanto para pesquisas científicas (FONTES; FUKUJIMA; CARDEAL, 2007; TEPLAN, 2002). A existência de corrente elétrica no cérebro foi descoberta em 1875 por Richard Caton em experiências com animais. Posteriormente, em 1924, a atividade cerebral pôde ser captada em um ser humano através de seu escalpo, sem a necessidade de se abrir o crânio (FONTES; FUKUJIMA; CARDEAL, 2007; TEPLAN, 2002).

A eletroencefalografia é uma técnica de leitura das atividades elétricas geradas pelas estruturas cerebrais. O eletroencefalográfico é um equipamento que registra a atividade elétrica do cérebro (TEPLAN, 2002). A eletroencefalografia é uma técnica não-invasiva onde os eletrodos são posicionados no escalpo do indivíduo captando a atividade cortical funcionalmente de forma ininterrupta (GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009; FONTES; FUKUJIMA; CARDEAL, 2007; TEPLAN, 2002).

Basicamente, existem três tipos de eletrodos que podem ser utilizados para medição do sinal elétrico do cérebro, são eles: escalpo, cortical e de profundidade. O eletrodo cortical recebe esse nome quando é posicionado diretamente na superfície do córtex cerebral, também chamado de eletrocorticografia (ECoG). O eletrodo de profundidade, assim como o ECoG, é uma técnica invasiva e utilizada em casos específicos de diagnóstico clínico, por exemplo, epilepsia. O eletrodo de escalpo é o mais comumente utilizado tanto para pesquisas científicas quanto para exames clínicos por ser não-invasivo (SANEI; CHAMBERS, 2013).

O eletrodo posicionado no escalpo de uma pessoa mede a atividade de vários neurônios que estão em regiões mais profundas do cérebro, sendo que cada um desses neurônios gera um pequeno campo elétrico, porém milhares de neurônios trabalham juntos e quase simultaneamente, fazendo com que seja possível medir o sinal elétrico gerado pelo cérebro de forma síncrona (PURVES, 2004). A Figura 6 ilustra as camadas onde estão os neurônios e os eletrodos.

Figura 6 – Atividade Sináptica.

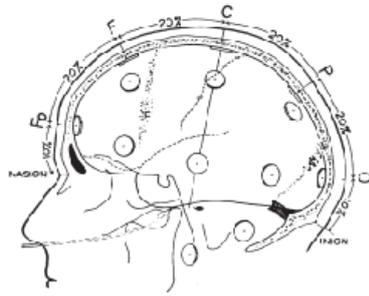


Fonte: Autor “adaptado de” Purves, 2004, p.669

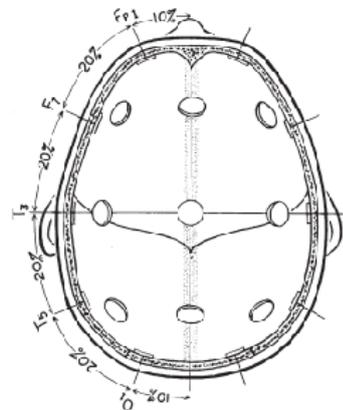
O posicionamento dos eletrodos mais utilizado para o EEG é chamado 10-20, que foi padronizado pela Federação Internacional de Neurofisiologia Clínica (IFCN). Neste posicionamento, a área do escalpo é dividida em distâncias proporcionais para localização dos eletrodos fazendo com que todas as áreas do cérebro estejam cobertas (FONTES; FUKUJIMA; CARDEAL, 2007; TEPLAN, 2002; JASPER, 1958).

Esses eletrodos recebem nomes de acordo com sua localização em cada um dos lobos cerebrais, ou seja, temporal (T), frontal (F), central (C), parietal (P), occipital (O) e uma numeração de acordo com o lado do cérebro em que se encontra: Números ímpares para o lado esquerdo e números pares do lado direito, além das letra (z) para designar eletrodos localizados

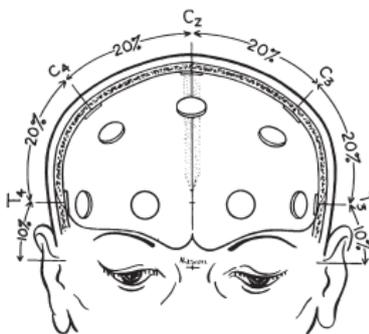
Figura 7 – Esquema de colocação dos eletrodos no sistema 10-20.



(a) Vista lateral



(b) Vista superior



(c) Vista frontal

Fonte: Autor “adaptado de” FONTES; FUKUJIMA; CARDEAL, 2007, p.122

na linha média e a letra (p) para designar eletrodos localizados na região polar. Os eletrodos A1 e A2 são colocados nos lóbulos das orelhas que servirão como pontos de referência (FONTES; FUKUJIMA; CARDEAL, 2007; TEPLAN, 2002; JASPER, 1958). A Figura 7 mostra a posição dos eletrodos e suas medidas.

O EEG mostra a atividade elétrica global do cérebro e por isso tem limitações como uma ferramenta para análise cerebral cognitiva (GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009). Para solucionar esse problema, a análise é feita a partir da resposta de uma determinada tarefa, que é

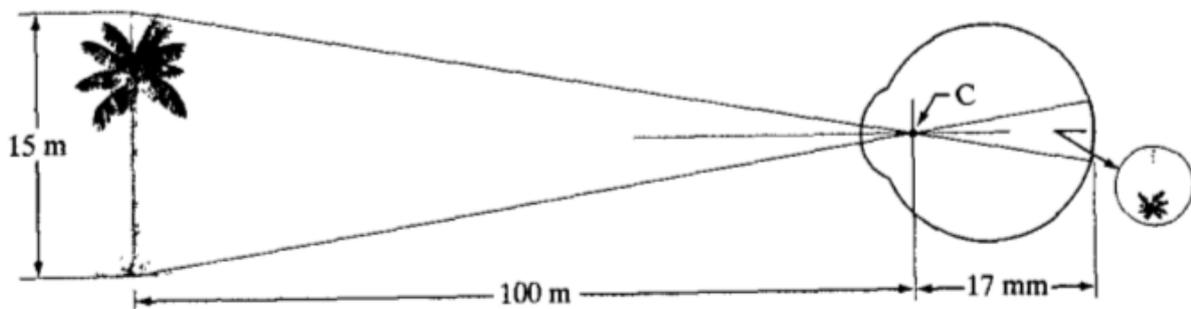
chamado de potencial evocado ou ERP (Event-Related Potential) que é o sinal elétrico referente somente ao estímulo externo realizado, com precisão temporal e mostrando como a atividade neural altera-se ao longo do tempo (GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009; PICTON et al., 2000).

2.4 CONCEITOS SOBRE O OLHO HUMANO

Dentre os cinco sentidos que são inerentes ao ser humano, a visão é considerada a de maior dependência humana (MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH, 2009). O processo da visão pode ser resumido da seguinte maneira: A luz chega através da pupila dos olhos e forma uma imagem de ponta-cabeça na retina, posteriormente essa imagem é transformada em neuro sinais que são transportados para o cérebro e lá interpretados (A. DUCHOWSKI, 2007). A Figura 8 mostra um exemplo de como uma imagem é formada na retina.

Outra região do olho muito importante e utilizada para o rastreamento do movimento ocular é a córnea. A córnea é a parte externa que cobre o olho e reflete a luz. Apesar de não ser a única parte do olho que tem a propriedade de reflexão, é a que tem o maior brilho e por este motivo é utilizada como referência para estimar o ponto de fixação do olhar (HOLMQVIST et al., 2011).

Figura 8 – Imagem formada na retina.



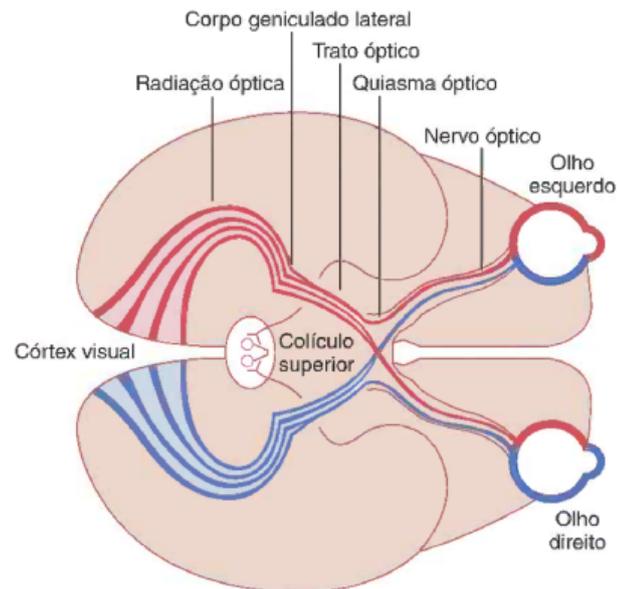
Fonte: Autor "adaptado de" Gonzalez; Woods, 2008, p.38

Como visto anteriormente neste capítulo e de acordo com a Figura 9, as principais vias de comunicação entre uma imagem capturada pelos olhos se ligam até o córtex visual, localizado no lobo occipital que é a região responsável pelos processamentos básicos do contorno dos objetos. A seguir, serão apresentados os conceitos de movimentos oculares e terminologias usadas nesse campo de pesquisa.

2.4.1 Movimento ocular

Segundo Porterfield (1759), o movimento ocular pode ser dividido em interno e externo. O movimento ocular interno são os movimentos que ocorrem com algumas partes do olho, como

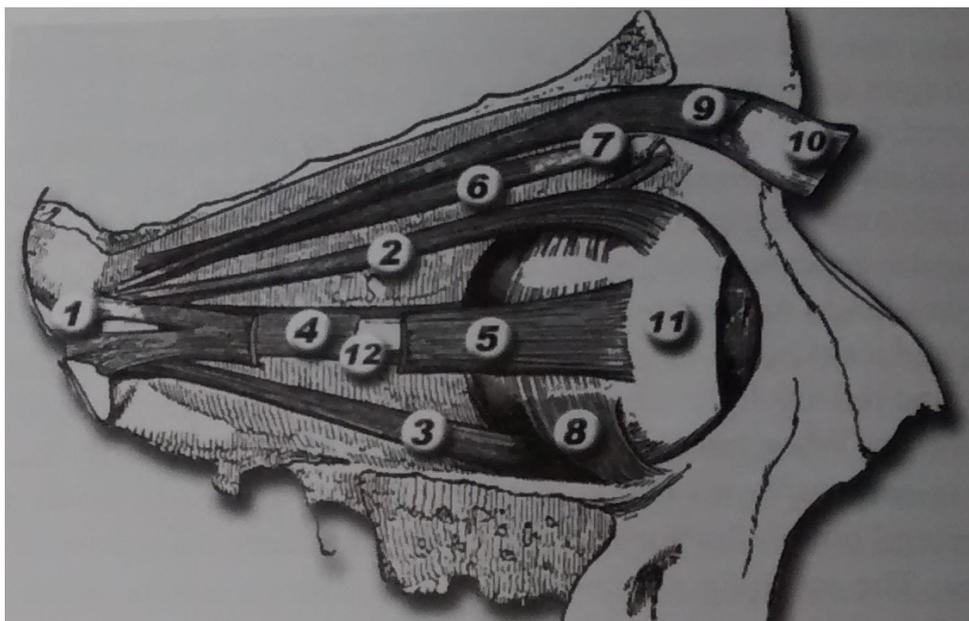
Figura 9 – Vias visuais.



Fonte: Autor “adaptado de” Arthur Clifton Guyton; Hall; Arthur C Guyton, 2006, p.659

a íris e o cristalino, ou quando existe um movimento de todo o olho, transformando sua forma natural esférica para uma forma achatada ou oblonga. O movimento ocular externo se refere aos movimentos dos músculos dos olhos que mudam sua situação e sentido, esses músculos são: inferior, superior, medial e lateral (músculos retos); inferior e superior (músculos oblíquos) (WADE; TATLER, 2005). A Figura 10 ilustra os músculos do olho humano.

Figura 10 – Músculos do olho humano.



Fonte: Autor “adaptado de” Holmqvist et al., 2011, p.32

Legenda: (2)-(3) geram os movimentos verticais, (4)-(5) geram os movimentos horizontais, (7)-(8) geram o movimento torcional e (9)-(10) controlam a pálpebra.

Apesar de se estudar o movimento ocular, os resultados apresentados são mostrados, na maioria das vezes, quando os olhos estão parados, movimentos chamados de fixação e sacada (HOLMQVIST et al., 2011). Fixação é o termo utilizado para designar o período de tempo no qual o olho permanece parado com a atenção voltada para algum ponto. Sacada é um movimento muito rápido do olho entre uma fixação e outra. É, na verdade, o movimento mais rápido que o corpo humano pode produzir (HOLMQVIST et al., 2011).

Na seção seguinte serão apresentadas as principais técnicas de rastreamento do movimento ocular utilizadas atualmente.

2.5 TÉCNICAS DE RASTREAMENTO DO MOVIMENTO OCULAR

As primeiras informações relacionadas com estudos de rastreamento de movimento ocular são datadas do início do século XIX, onde Huey (1898) construiu um equipamento para este fim. Porém, esse equipamento era basicamente mecânico e tinha pouco conforto para o usuário (A. DUCHOWSKI, 2007; EGGERT, 2007). Alguns anos mais tarde, o princípio de reflexão da córnea foi proposto por Dodge e Cline (1901) o que trouxe a possibilidade de criar técnicas menos invasivas para realização de experimentos relacionados a movimentos oculares (A. DUCHOWSKI, 2007). A seguir são descritas as principais técnicas utilizadas atualmente para rastreamento de movimento ocular.

2.5.1 Lente escleral

O método para se adquirir os movimentos oculares através de uma lente escleral foi primeiramente introduzido por Robinson (1963) e posteriormente aperfeiçoado por outros pesquisadores como Collewijn, Van der Mark e Jansen (1975) e Rimmel (1984) durante o final do século XX (EGGERT, 2007; HOUBEN; GOUMANS; STEEN, 2006; VAN DER GEEST; FRENS, 2002).

A técnica de lente escleral se baseia em medir a tensão elétrica induzida pelo movimento dos olhos através de um campo magnético, em que a tensão elétrica é captada através de fio e transferida para uma bobina que fica embutida em uma lente de contato modificada para esse fim que possui espelhos integrados para medir a reflexão da luz (GAUR; JARIWALA, 2014; CHENNAMMA; YUAN, 2013; EGGERT, 2007; VAN DER GEEST; FRENS, 2002). A Figura 11 mostra qual o posicionamento da lente escleral no olho humano.

A técnica de lente escleral é a que apresenta maior precisão na aquisição dos movimentos oculares, porém é uma técnica invasiva que apresenta pouco conforto ao usuário, fazendo com que os movimentos oculares não sejam realizados de maneira natural, além de possuir restrição no tempo de uso, não sendo indicada para testes longos (GAUR; JARIWALA, 2014; EGGERT, 2007).

Figura 11 – Posicionamento da lente escleral.



Fonte: Autor “adaptado de” Gaur; Jariwala, 2014

2.5.2 Eletro-oculografia

A eletro-oculografia (EOG), também conhecida como eletronistagmografia, já foi o método mais empregado para o registro dos movimentos oculares e foi criada com o intuito de ser uma técnica menos invasiva do que as existentes (M. M. GANANÇA; CAOVIALLA; F. F. GANANÇA, 2010; A. DUCHOWSKI, 2007; EGGERT, 2007).

Esta técnica utiliza o princípio da variação de potencial córneo-retinal durante a movimentação dos olhos, com o pressuposto que o olho funciona como um dipolo elétrico. Para aquisição dos movimentos oculares, sensores que captam a variação do campo magnético dos olhos quando os mesmos se movimentam são colocados ao redor dos olhos, onde através da pequena variação do campo magnético é possível estimar a posição dos mesmos (GAUR; JARIWALA, 2014; CHENNAMMA; YUAN, 2013; M. M. GANANÇA; CAOVIALLA; F. F. GANANÇA, 2010; A. DUCHOWSKI, 2007; EGGERT, 2007). A Figura 12 ilustra como os sensores são posicionados no usuário.

Figura 12 – Posicionamento dos eletrodos na técnica EOG.



Fonte: Autor “adaptado de” Gaur; Jariwala, 2014

Uma das principais vantagens da EOG é a possibilidade de acompanhar os movimentos oculares mesmo com o indivíduo estando de olhos fechados, quando por exemplo a pessoa está dormindo, o que auxilia no diagnóstico de doenças. Outras vantagens são seu preço de compra e facilidade de manuseio, porém é uma técnica invasiva, algo que pode alterar o movimentos oculares naturais do sujeito da pesquisa (GAUR; JARIWALA, 2014; CHENNAMMA; YUAN, 2013; EGGERT, 2007).

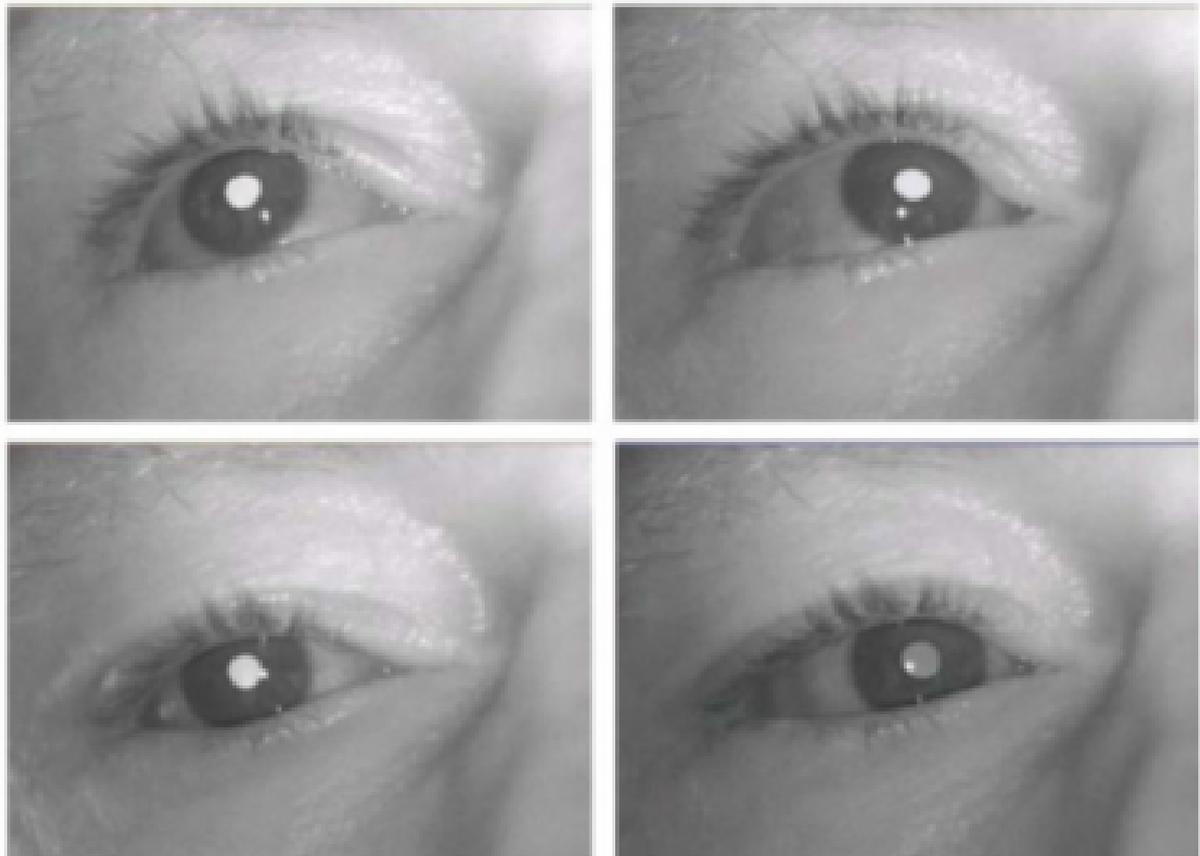
2.5.3 Vídeo-oculografia

A vídeo-oculografia (VOG) ou videonistagmografia é atualmente a técnica de rastreamento de movimentos oculares mais utilizada (CHENNAMMA; YUAN, 2013; A. DUCHOWSKI, 2007; EGGERT, 2007). Seu sucesso se deve ao rápido avanço do processamento de dados, aumento da robustez dos algoritmos, redução de preço e aumento dos campos de aplicação (CHENNAMMA; YUAN, 2013; EGGERT, 2007).

A VOG, com uma câmera, utiliza o princípio da emissão de raios infravermelhos em direção aos olhos onde é produzido um brilho na córnea, chamado de reflexão da córnea, que é usado como referência para estimar o ponto de fixação já que a diferença entre a pupila e brilho produzido na córnea é constante (GAUR; JARIWALA, 2014; CHENNAMMA; YUAN, 2013). A Figura 13 mostra as diferentes posições de fixação do olhar e a posição da reflexão da córnea.

A partir dos raios infravermelhos emitidos e refletidos pela córnea, a captação dos movimentos oculares se dá por meio de sensores infravermelhos colocados em óculos especiais, máscara ou câmera (CHENNAMMA; YUAN, 2013; M. M. GANANÇA; CAOVIOLA; F. F.

Figura 13 – Brilho da córnea com diferentes fixações.



Fonte: Autor “adaptado de” Gaur; Jariwala, 2014

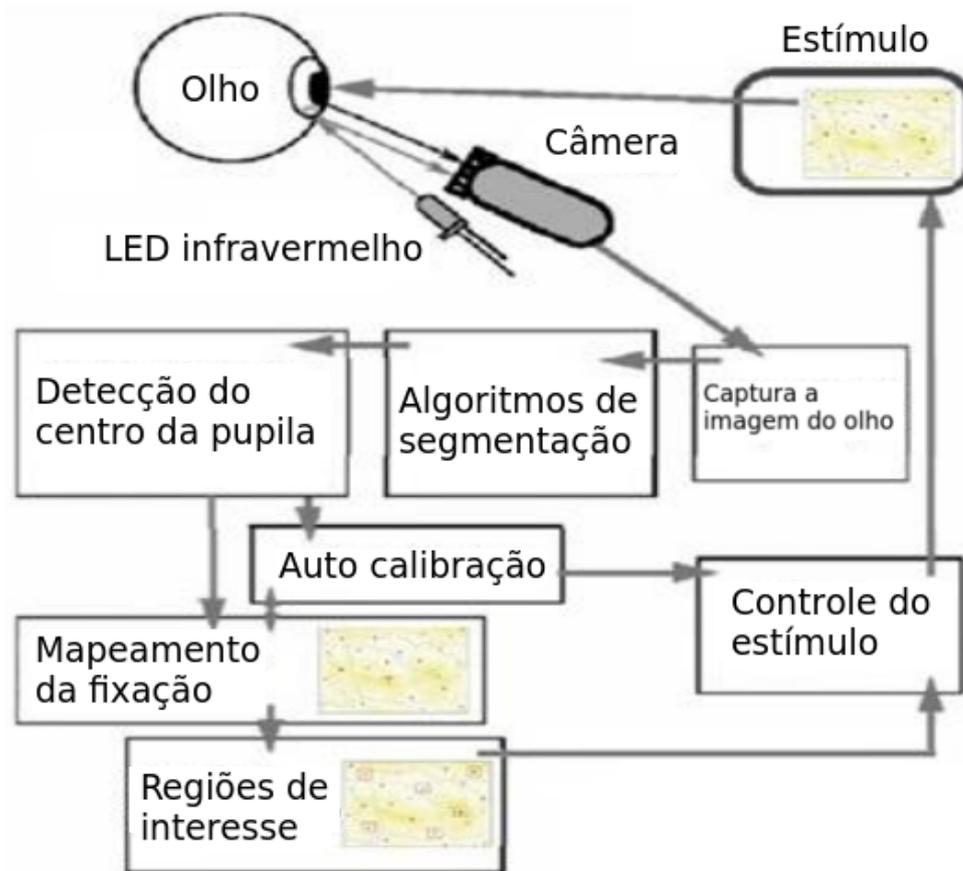
GANANÇA, 2010). Para melhorar a precisão da captação dos movimentos oculares, muitas vezes são utilizadas várias fontes emissoras de raios infravermelhos (CHENNAMMA; YUAN, 2013). A Figura 14 mostra o diagrama de funcionamento da técnica VOG utilizando-se apenas uma câmera.

2.6 CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

De acordo com o conteúdo apresentado neste capítulo, é possível compreender as principais divisões cerebrais no âmbito da neurociência e quais as técnicas de mapeamento cerebral mais utilizadas, mostrando suas fundamentações teóricas e suas aplicações práticas. A Figura 15 mostra um comparativo qualitativo entre as técnicas apresentadas com relação à resolução temporal, resolução espacial e conforto para o usuário que é representado através do tamanho de sua circunferência, sendo que quanto maior seu tamanho maior é o conforto para o usuário.

Conforme visto na Figura 15 e apresentado ao longo desse capítulo, o EEG é a técnica de mapeamento cerebral que apresenta a melhor resolução temporal juntamente com a MEG, além de apresentar maior conforto para o sujeito da pesquisa, pois a técnica não exige que a pessoa fique dentro de um equipamento que por muitas vezes apresenta alto nível de ruído

Figura 14 – Diagrama de funcionamento da VOG.



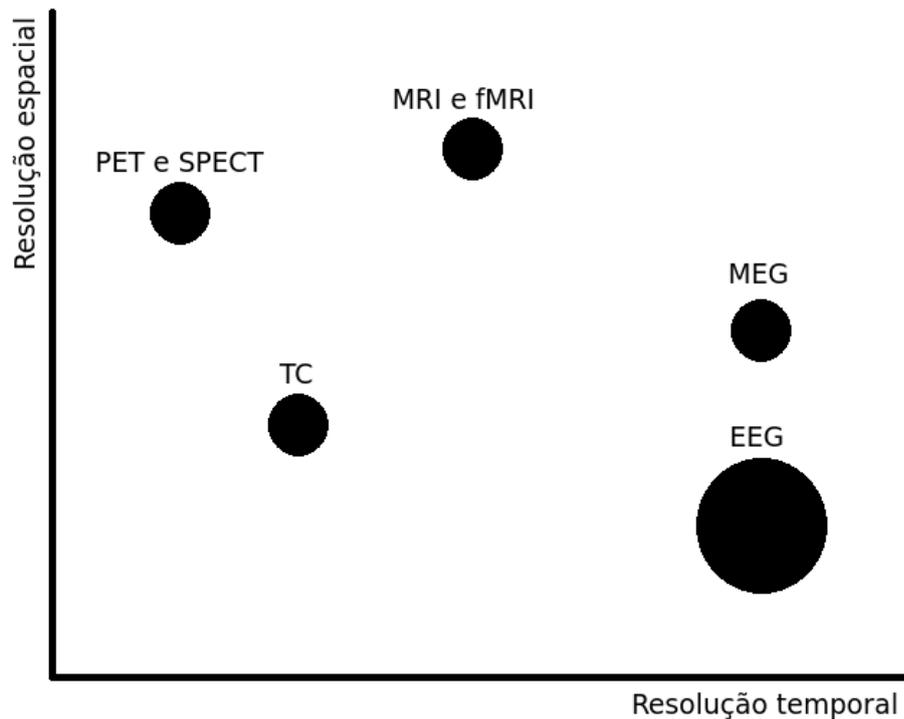
Fonte: Autor “adaptado de” Gaur; Jariwala, 2014

desconcentrando o voluntário, não precisa injetar um elemento radioativo na corrente sanguínea e mede a atividade elétrica do cérebro de forma direta. Adicionalmente, a possibilidade de simular o ambiente mais naturalmente possível para o enxadrista foram determinantes para escolha desta ferramenta para realização dos experimentos.

Dentre os diversos equipamentos de EEG disponíveis no mercado, o OpenBCI foi escolhido devido a suas características técnicas como: ferramenta aberta (*opensource*), frequência de amostragem de até 250Hz e 16 canais de EEG além de características não-técnicas como: portabilidade e conectividade com os tipos de eletrodos encontrados comercialmente. A Figura 16 mostra esse equipamento.

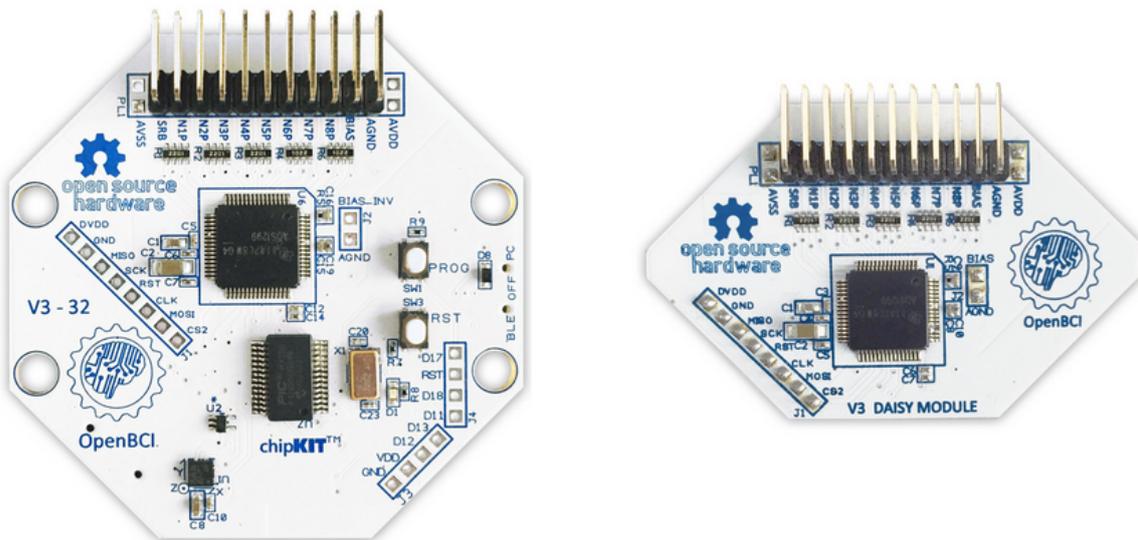
Neste capítulo, também foi possível ter uma visão geral do processo da visão e dos movimentos oculares, além de técnicas de rastreamento de movimentos oculares usadas em pesquisas científicas, seus campos de aplicação e utilização. A Figura 17 indica um comparativo qualitativo entre as técnicas apresentadas com relação a resolução temporal, resolução espacial e conforto para o usuário que é representado através do tamanho de sua circunferência, sendo que quanto maior seu tamanho maior é o conforto para o usuário.

Figura 15 – Comparativo entre técnicas de mapeamento cerebral.



Fonte: Autor

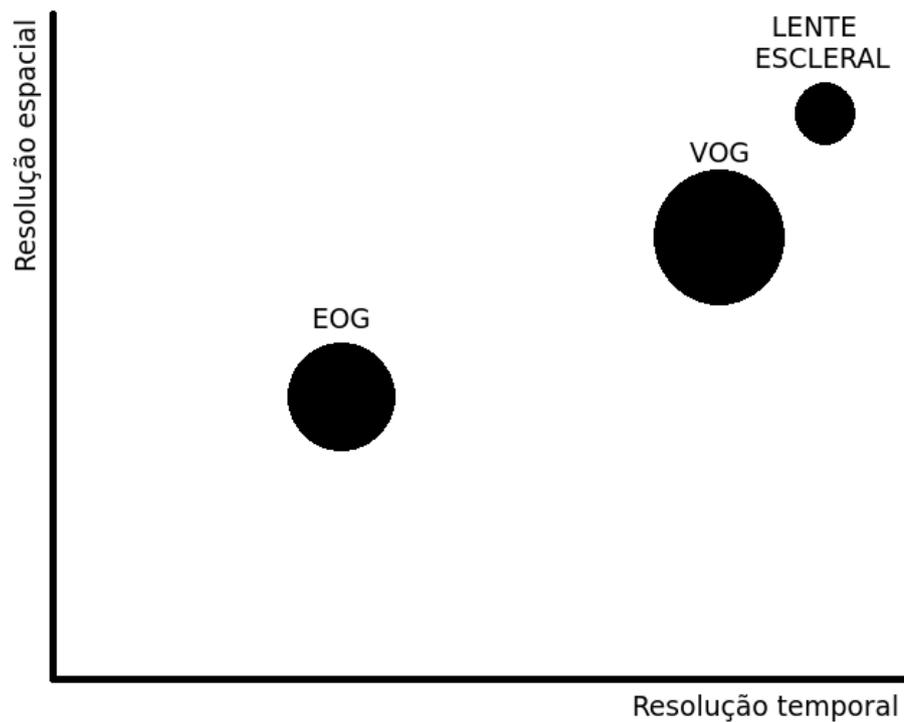
Figura 16 – Equipamento OpenBCI.



Fonte: OpenBCI, 2013

Como ilustrado na Figura 17 e descrito ao longo desse capítulo, a técnica de lente escleral apresenta maior resolução temporal e espacial, porém apresenta pouco conforto ao usuário devido à colocação de uma lente dentro do olho, tornando-se uma técnica invasiva, o que pode fazer com que o usuário não realize seus movimentos oculares com naturalidade. A VOG apre-

Figura 17 – Comparativo entre técnicas de rastreamento de movimento ocular.



Fonte: Autor

senta alta resolução temporal e espacial, além de alto conforto ao usuário, pois nenhum sensor é inserido no usuário já que o equipamento é capaz de captar os movimentos oculares à distância. No campo de pesquisa relacionado ao rastreamento ocular essa é a técnica mais utilizada.

O Tobii Pro TX300 é um equipamento baseado na técnica de VOG e possui características técnicas como: frequência de amostragem de 300Hz, latência total menor que 10ms, monitor de 23” e possibilidade de integrar e sincronizar o EEG. E características não-técnicas: portabilidade e facilidade de calibração. A Figura 18 mostra esse equipamento.

Para que o voluntário da pesquisa se sinta o mais próximo possível do ambiente do xadrez, as técnicas para mapeamento cerebral e rastreamento do movimento ocular foram escolhidas levando-se em consideração suas características técnicas para as futuras análises dos dados que serão realizadas, bem como o conforto do usuário com relação à realização dos experimentos.

Figura 18 – Equipamento Tobii Pro TX300.



Fonte: Tobii Pro, 2014

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Este capítulo descreve sucintamente os principais trabalhos relacionados ao tema em questão e está dividido em duas seções: estado da arte e considerações complementares. Na seção seguinte, do estado da arte, são descritos, mais especificamente, experimentos realizados tendo o xadrez como aplicação e que utilizaram técnicas de mapeamento cerebral ou técnicas de rastreamento do movimento ocular para aquisição de sinais.

3.1 ESTADO DA ARTE

No início da década de 90, Chabris e Hamilton (1992) efetuaram um experimento com 16 jogadores de xadrez com níveis de mestres, 4 deles participaram na escolha dos estímulos e 12 participaram do teste, onde o teste consistia em mostrar aos participantes vários diagramas de xadrez por um período de tempo e posteriormente os participantes deveriam reconstruir o que havia sido mostrado enquanto os pesquisadores anotavam qual a ordem que a reconstrução era feita. Com esse experimento, Chabris e Hamilton (1992) concluíram que o hemisfério direito do cérebro teve melhor desempenho para identificar um único *chunk*¹ enquanto que o hemisfério esquerdo teve melhor desempenho para identificar múltiplos *chunks* com tamanhos equivalentes.

Em 1994, utilizando a técnica de neuroimagem PET, Nichelli et al. (1994) realizaram um experimento envolvendo 10 enxadristas que já tinham pelo menos 4 anos de experiência em xadrez e participavam constantemente de torneios na área. Utilizando-se um computador que mostrava um diagrama de xadrez, foram apresentadas 4 tipos de questões: reconhecimento de peças, discriminação espacial, conhecimento de regras e possibilidade de xeque-mate em um lance. Cada uma das tarefas realizadas mostrou diferentes áreas de ativação do cérebro. A tarefa de discriminação espacial mostrou ativação na área dorsal parieto-occipital; a tarefa de conhecimento de regras mostrou ativação nas regiões medial, lateral e inferior do lobo temporal; a tarefa de possibilidade de xeque-mate em um lance mostrou ativação do lado direito na área pré-frontal e na junção parieto-occipital.

No ano seguinte, Onofrj et al. (1995) efetuaram o primeiro experimento utilizando a técnica de SPECT e xadrez como ambiente de estudo. O experimento contou com 5 jogadores de xadrez com ranking ELO acima de 1800 que foram colocados diante de um problema complexo de xadrez e após 15 minutos de análise chegaram a resposta correta. Este estudo mostrou que existe uma ativação na região não-dominante do lobo frontal e na região não-dominante do lobo temporal quando enxadristas especialistas estão resolvendo problemas complexos de xadrez.

No início dos anos 2000, Amidzic et al. (2001) utilizaram a técnica de magnetoencefalografia (MEG) e realizaram um experimento envolvendo 20 enxadristas, 10 grandes mestres e 10

¹Chunk é um termo utilizado em neurociência cognitiva em que unidades individuais de informação estão estruturadas em unidades maiores para melhorar o desempenho da memória

amadores, enquanto os sujeitos da pesquisa jogavam uma partida de xadrez contra o computador. Com os resultados foi possível verificar que os jogadores amadores tiveram maior ativação na área medial do lobo temporal, enquanto que os grandes mestres mostraram maior ativação nas áreas dos lobos frontal e parietal, o que, segundo Amidzic et al. (2001), está relacionado ao fato de que os grandes mestres confiam mais em sua memória remota do que na memória recente.

Em 2001, Reingold et al. (2001) investigaram as diferenças entre jogadores de xadrez principiantes, intermediários e experientes analisando-se a extensão visual dos mesmos. Diferentes estímulos foram apresentados aos participantes, sendo eles: identificar qual peça foi alterada entre dois quadros que continham situações reais de jogo, identificar qual peça foi alterada entre dois quadros que continham posições randômicas de peças de xadrez e analisar uma situação de xeque em uma situação real de jogo. Com este estudo, Reingold et al. (2001) mostraram que enxadristas experientes conseguem extrair mais informações em suas fixações na cena. Em tarefas de identificação de situação de xeque, demonstraram que precisam de menos fixações para analisar a relação entre as peças.

Nesse mesmo ano, Charness et al. (2001) realizaram experimento envolvendo enxadristas somente com ranking ELO, 12 participantes entre 1600 à 1923 e 12 participantes entre 2200 e 2350, onde seus movimentos oculares foram analisados enquanto solucionavam 5 tarefas relacionadas ao xadrez. Este experimento mostrou que jogadores com maior proficiência responderam as questões de forma mais rápida e com maior acurácia, além de uma proporção maior de fixações entre as peças do que em uma única peça, mostrando que esses jogadores analisam a configuração da codificação do xadrez ao invés das peças individualmente.

Em 2002, Volke et al. (2002) realizaram experimento com 39 enxadristas de diferentes níveis de proficiência em xadrez com o EEG como ferramenta de análise, onde foram apresentadas 4 diferentes tipos de questões, das quais cada tipo continha os elementos do tipo de questão anterior e era adicionado um novo elemento. Os resultados mostraram que as áreas essenciais para a realização das tarefas apresentadas em jogadores com maior proficiência mudam da parte anterior para a parte posterior e mostram maior conexão entre várias áreas do córtex cerebral enquanto que jogadores com menor proficiência em xadrez apresentam menor conexão entre as áreas do córtex cerebral.

No ano seguinte, em 2003, Atherton et al. (2003) estudaram as áreas do cérebro que são ativadas para realização de 3 tarefas relacionadas ao xadrez. Os estímulos apresentados foram: diagrama do tabuleiro de xadrez sem peças, diagrama com peças em posições aleatórias e diagrama representando uma situação de jogo. Para realização do experimento foi utilizada a técnica de fMRI e 7 voluntários principiantes em xadrez participaram da pesquisa. Neste trabalho, Atherton et al. (2003) analisaram os resultados da subtração entre as tarefas envolvendo diagrama com peças em posições aleatórias e com representação de jogo e mostraram que no geral houve ativação em ambos os hemisférios dos lobos frontal, parietal e occipital. Esse re-

sultado foi comparado com outros encontrados no jogo Go, jogo com os mesmos fundamentos do xadrez, e mostrou que os resultados foram similares.

Em 2005, Campitelli, Gobet e Parker (2005) utilizaram fMRI para analisar as áreas de ativação do cérebro em enxadristas profissionais e principiantes, 2 enxadristas com ranking ELO e 14 principiantes, afim de entender as diferenças em testes de memória que envolviam estímulos relacionados ao xadrez ou não. Os resultados mostraram as diferenças das ativações cerebrais entre os estímulos apresentados, onde enxadristas principiantes mostraram diferenças de ativações cerebrais nas áreas do lobo frontal e temporal além da área posterior em ambos os hemisférios, enquanto que em jogadores com maior proficiência não houve diferença de ativação do cérebro entre as diferentes tarefas.

Dois anos mais tarde, em 2007, Campitelli et al. (2007) investigaram principalmente a localização do domínio específico dos *chunks* de memória a longo prazo. Este experimento contou com a participação de voluntários com ranking ELO entre 1550 e 2200 que foram apresentados a 4 tipos de tarefas distintas e a análise feita a partir dos dados coletados através de um equipamento de fMRI. Com este estudo, Campitelli et al. (2007) propuseram que enxadristas ativam os *chunks* de memória a longo prazo no lobo temporal quando expostos as tarefas relacionadas ao xadrez e ativação na área dorso-lateral, pré-frontal e no lobo parietal em tarefas relacionadas à memória.

Utilizando as técnicas de fMRI e *eye-tracking*, Bilalić et al. (2010), em 2010, realizaram um experimento para comparar as diferenças entre enxadristas experientes e principiantes, 8 experientes e 15 principiantes, que foram submetidos a tarefas de reconhecimento de padrão e reconhecimento de objetos. Analisando-se os resultados obtidos com *eye-tracking*, mostrou-se que jogadores de xadrez com maior proficiência olhavam para as partes mais relevantes da cena, enquanto que jogadores com menor proficiência olhavam para toda a cena para obter a mesma solução. Analisando-se os resultados obtidos com fMRI, notou-se uma ativação maior em diversas áreas em tarefas relacionadas ao xadrez. Em contra partida, não houve diferenças em tarefas que não eram relacionadas ao xadrez.

Utilizando-se as mesmas técnicas, no ano seguinte, Bilalić et al. (2011a) novamente compararam diferenças entre jogadores de xadrez principiantes e experientes. Este experimento contou com a participação de 16 enxadristas, 8 experientes e 8 principiantes, que realizaram tarefas de reconhecimento de formas de objetos, reconhecimento de objetos relacionados ao xadrez e funções de objetos relacionados ao xadrez. A análise dos movimentos oculares mostrou que enxadristas com maior proficiência precisaram de menos fixações nos objetos para reconhecê-los e conseqüentemente realizaram as tarefas mais rapidamente do que os enxadristas com menor proficiência, porém essa diferença não existiu quando a tarefa não era relacionada com objetos de xadrez. As imagens de fMRI revelaram ativação do lado esquerdo do lobo temporal e parte lateral do lobo parietal e ativação equivalente no hemisfério direito somente nos enxadristas com maior proficiência.

Nesse mesmo ano de 2011, Bilalić et al. (2011b) estudaram as diferenças entre enxadristas principiantes e experientes na Fusiform Face Area (FFA), área relacionada ao reconhecimento de faces. Utilizando-se fMRI, os voluntários da pesquisa foram submetidos a tarefas de reconhecimento de objetos, algumas envolvendo objetos relacionados ao xadrez e outras não. Com este experimento, Bilalić et al. (2011b) mostraram que a área do FFA é mais ativada em enxadristas mais experientes em tarefas relacionadas e não-relacionadas com proficiência em xadrez, o que pode ser algo que ajude os jogadores com maior proficiência a terem melhores resultados em relação a percepção visual.

Em 2011, Krawczyk et al. (2011) estudaram, assim como Bilalić et al. (2011b), a diferença na ativação na FFA entre jogadores de xadrez principiantes e experientes. O grupo de voluntários foi composto por 6 enxadristas com ranking ELO e 6 enxadristas principiantes que foram submetidos a estímulos que envolviam ou não características relacionadas ao xadrez, onde as ativações do cérebro foram captadas por um equipamento de fMRI. Ao contrário do resultado encontrado por Bilalić et al. (2011b), Krawczyk et al. (2011) mostraram que não há seletividade entre xadrez e outras formas de estímulo, porém em estímulos relacionados a situações reais de um jogo de xadrez, os enxadristas principiantes tiveram maior ativação no lobo parietal.

No ano seguinte, Duan et al. (2012a) realizaram um experimento em enxadristas com diferentes níveis de proficiência para estudar as diferenças no núcleo caudado, área relacionada com o aprendizado e associação de estímulos recebidos, utilizando-se técnica de fMRI. Nesse experimento, Duan et al. (2012a) verificaram que enxadristas com maior proficiência tem um volume menor de massa cinzenta no núcleo caudado bilateral e melhor conexão com o Default Mode Network (DMN, rede neural do cérebro que normalmente é ativa em situação de repouso) em atividades espontâneas oscilatórias.

Nesse mesmo ano de 2012, Duan et al. (2012b) estudaram novamente a diferença entre jogadores de xadrez experientes e principiantes analisando-se o DMN através das imagens geradas por fMRI em que os voluntários foram submetidos a tarefas relacionadas ao xadrez e a análise sendo feita durante e após o período de realização da tarefa. Com este experimento encontrou-se uma supressão robusta do DMN durante a realização de uma tarefa relacionada ao xadrez e maior conexão entre o DMN e o núcleo caudado em situação de repouso em enxadristas com maior proficiência, que pode estar relacionada com sua melhor desempenho em comparação com os enxadristas com menor proficiência.

Mais recentemente, em 2013, Wright et al. (2013) realizaram experimento com EEG e ERP onde 28 voluntários, 14 experientes e 14 novatos, foram submetidos a estímulos relacionados com o xadrez como reconhecimento de peças e conhecimento de situações de xeque em que compararam as diferenças entre os grupos de participantes. Comparando-se os resultados do experimento, Wright et al. (2013) verificaram que nos enxadristas com maior proficiência houve aumento na componente N2 em tarefas em situação de xeque e aumento na componente P3 em tarefas de reconhecimento de peças o que pode ter ligação com seu melhor desempenho

em reconhecimento de padrões, o que comprova os resultados encontrados por (BILALIĆ et al., 2011a).

Em 2014, Duan et al. (2014) investigaram a diferença na conectividade de toda rede neural entre enxadristas principiantes e experientes. Para este experimento, Duan et al. (2014) utilizaram a técnica de fMRI onde 40 voluntários participaram, 20 jogadores experientes e 20 jogadores principiantes. Neste experimento, Duan et al. (2014) apuraram que a conectividade funcional em enxadristas com maior proficiência é maior entre as regiões dos gânglios basais, tálamo, lobo temporal e algumas áreas do lobo parietal, sugerindo que a proficiência em xadrez influencia nas redes de conexões ligadas ao aprendizado e memória.

Nesse mesmo ano, Hänggi et al. (2014) realizaram experimento utilizando a técnica de ressonância magnética envolvendo 40 voluntários, 20 enxadristas experientes e 20 enxadristas principiantes, para determinar diferenças morfológicas entre esses 2 grupos. Ao contrário dos resultados encontrados por Duan et al. (2012a), Hänggi et al. (2014) não encontraram diferenças no núcleo caudado entre enxadristas com maior proficiência e o grupo de controle, porém verificaram uma diminuição da massa cinzenta e aumento da média de dilatação dentro de dois agrupamentos do lado superior esquerdo do fascículo longitudinal.

Em 2016, F. Rocha et al. (2016) compararam as diferenças entre jogadores de xadrez iniciantes e experientes utilizando a técnica de EEG para obtenção dos sinais cerebrais e analisando esses sinais 2 segundos antes da tomada de decisão através do método proposto por F. Rocha et al. (2005). Os resultados desse experimento foram apresentados em mapas codificados em cores onde notou-se que enxadristas com maior proficiência tiveram maior ativação na área frontal do cérebro, área relacionada ao planejamento e tomada de decisão, enquanto que enxadristas com menor proficiência apresentaram maior ativação cerebral nas áreas relacionadas a leitura lexical, o que pode-se remeter ao momento de leitura da questão para analisar qual a resposta correta a ser dada.

3.2 CONSIDERAÇÕES COMPLEMENTARES

Este capítulo apresentou as principais pesquisas realizadas nas últimas décadas que estão dentro do escopo deste trabalho. A Tabela 1 resume as técnicas que foram utilizadas nesse campo de pesquisa.

A quantidade de artigos encontrados na literatura mostra a importância do tópico que vem sendo estudado e também como ainda são necessários novos experimentos nessa área, principalmente que relacionem de forma síncrona o EEG e os movimentos oculares.

Os resultados apresentados revelam diferenças entre os processos cognitivos entre enxadristas com maior e menor proficiência em xadrez. Essas diferenças, tanto nas ativações cerebrais quanto nos movimentos oculares, podem explicar o melhor desempenho de enxadristas com maior proficiência no âmbito do xadrez.

Tabela 1 – Resumo das técnicas de aquisição de sinais em xadrez nas últimas décadas.

<i>Técnicas</i>	<i>Quantidade</i>
<i>MRIe fMRI</i>	10
<i>PETe SPECT</i>	2
<i>Magnetoencefalografia</i>	1
<i>EEG</i>	3
<i>VOG</i>	4

Fonte: Autor

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta o conjunto de experimentos realizados neste trabalho e está dividido em quatro seções: materiais e métodos, participantes, tarefas e estímulos e processamento de sinais. Na primeira seção, são descritos os equipamentos utilizados e métodos de aquisição de dados. Na seção seguinte, são descritos os voluntários que participaram dos experimentos e a métrica utilizada para ordená-los baseada na acurácia e tempo médio de resposta. Na terceira seção, são descritas as categorias de questões e o procedimento dos experimentos. Na última seção, são apresentadas técnicas de processamento de sinais para eletroencefalografia e movimento ocular.

4.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados para os experimentos podem ser divididos de acordo com os sinais que serão adquiridos: sinais cerebrais e de movimentos oculares. As subseções seguintes descrevem os métodos de aquisição de dados.

4.1.1 Aquisição dos Sinais Cerebrais

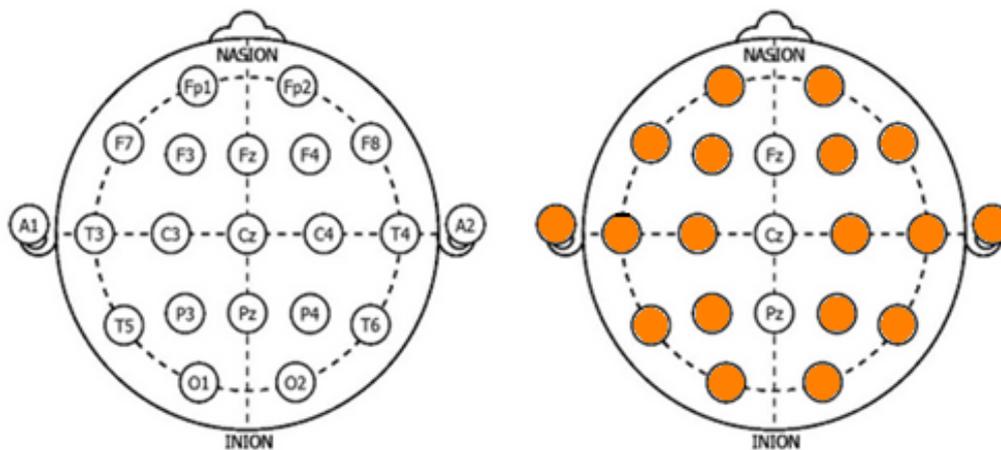
Os sinais elétricos cerebrais foram obtidos por meio do equipamento de eletroencefalografia (EEG) OpenBCI. Este equipamento foi configurado para ter frequência amostral de 125Hz e resolução de 32 bits por canal para os experimentos realizados. Os eletrodos utilizados foram do material de cloreto de prata (AgCl) posicionados de acordo com o sistema internacional 10-20 em duas toucas de tamanhos diferentes para melhor adquirir os sinais elétricos cerebrais de acordo com o tamanho da circunferência cranial do voluntário. A Figura 19 mostra as toucas que foram utilizadas para realização dos experimentos.

Figura 19 – Toucas de eletrodos para EEG.



Para os experimentos realizados, foram adquiridos os sinais elétricos de dezesseis canais, posicionados de forma a abranger a maior parte possível do cérebro, são eles: Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, T3, T4, T5, T6, C3, C4, P3, P4, O1 e O2, além dos eletrodos A1 e A2 posicionados nos lóbulos auriculares que foram utilizados como referência de potencial elétrico (TEPLAN, 2002; JASPER, 1958). A Figura 20 mostra o sistema 10-20 convencional que foi utilizado como referência para o posicionamento dos eletrodos evidenciando na cor laranja os eletrodos utilizados nos experimentos.

Figura 20 – Posicionamento dos eletrodos.



Fonte: Autor “adaptado de” Teplan, 2002

4.1.2 Aquisição dos Movimentos Oculares

Para o rastreamento do movimento ocular, foi utilizado o equipamento Tobii TX300, com uma taxa de amostragem de 300Hz, latência de processamento entre 1ms e 3.3ms, e precisão de 0.14°. Juntamente com o *eye-tracking*, foi utilizado um monitor de 23” com resolução de 1920 x 1080 pixels para exibir as questões e situações do jogo de xadrez em uma resolução de 800 x 800 pixels, centralizadas no monitor. A Figura ?? mostra o posicionamento do voluntário em relação ao equipamento de rastreamento do movimento ocular.

4.2 PARTICIPANTES

Uma parte dos experimentos foi realizada em um campeonato de xadrez, sediado pelo Clube A Hebraica de São Paulo e organizado pela Xeque & Mate, em que 404 alunos representando 101 escolas da capital e interior do estado de São Paulo participaram do Campeonato Paulista de Xadrez Escolar. Os participantes eram jogadores profissionais de xadrez, professores de xadrez, crianças em idade escolar competidores do campeonato em questão. Outra parte dos experimentos foi realizada dentro do Centro Universitário da FEI em que os voluntários

Figura 21 – Posicionamento do voluntário em relação ao equipamento de rastreamento do movimento ocular.



Fonte: Tobii Pro, 2014

não tinham prática contínua em xadrez, porém tinham conhecimento sobre o jogo. A Figura 22 ilustra um voluntário realizando os experimentos.

Ao todo, trinta e dois voluntários participaram dos experimentos (idade média \pm desvio padrão, $27,8 \pm 12,75$). A quantidade de voluntários que participaram dos experimentos é condizente com a encontrada na literatura. Dentro desse grupo, alguns voluntários possuíam ranking ELO (ELO, 1978) e, para separá-los em grupos de acordo com sua proficiência, foi utilizado o método de cálculo de pontuação individual proposto por Volke (VOLKE et al., 2002):

$$H_s = (N_{correct} - \frac{N}{2}) \cdot \frac{RT_m}{RT_s}, \quad (1)$$

onde H_s é a proficiência de cada voluntário, $N_{correct}$ é o número de respostas corretas, N é o número total de questões, RT_m é o tempo de resposta médio de todos os participantes em todas as questões e RT_s é o tempo médio de resposta de cada voluntário da pesquisa.

Essa equação se mostra eficaz para os experimentos realizados pois leva em consideração não somente a acurácia da resposta, como também o tempo gasto relativamente para se fornecer essa resposta. Adicionalmente, voluntários que respondam todas as perguntas com a mesma alternativa, procurando alcançar no pior caso 50% de acerto, mas no tempo mínimo possível, ficam com pontuação igual a zero (F. ROCHA et al., 2016).

4.3 TAREFAS E ESTÍMULOS

Cada voluntário respondeu a 51 questões diferentes relacionadas ao jogo de xadrez no ambiente CHESSLAB (CESAR; F. T. ROCHA; THOMAZ, 2015; CESAR, 2016), adaptado

Figura 22 – Realização dos experimentos por um voluntário.



Fonte: Xequê & Mate, 2011

para o presente trabalho. Tomando-se como base os trabalhos de Cesar, F. T. Rocha e Thomaz (2015) e F. Rocha et al. (2016), as questões foram elaboradas para o presente estudo. Foram tomadas precauções na construção do teste sobre o nível de dificuldade das questões, número de questões elaboradas para cada categoria, balanceamento de respostas afirmativas e negativas e entendimento das questões propostas.

Dentre as 51 questões apresentadas nos experimentos, 6 questões não foram utilizadas para geração dos mapas de sinais cerebrais, também chamado nesse trabalho como mapas cerebrais, e de atenção visual por não pertencerem as categorias mostradas na Tabela 2. A Tabela 2 mostra as categorias que foram utilizadas nos experimentos, onde as categorias 1, 2, 3 e 4 foram propostas por Volke (VOLKE et al., 2002) e a categoria 5 proposta por Nichelli (NICHELLI et al., 1994).

Com relação ao sistema de aquisição dos dados, são estabelecidos dois momentos distintos de interação com o usuário. No primeiro momento, o voluntário lê uma pergunta apresentada de forma escrita em um monitor, devendo clicar na barra de espaço quando terminar de ler, compreender e memorizar a questão apresentada. No segundo momento, o tabuleiro de xadrez é apresentado em um monitor com uma configuração de peças coerente com aquela esperada dentro de uma partida, devendo o usuário agora apertar a tecla S para responder “sim”

Tabela 2 – Categorias do questionário de classificação.

<i>Categoria</i>	<i>Descrição</i>
1	Reconhecimento de peças e posicionamento
2	Reconhecimento de situações de xeque
3	Reconhecimento de situações de xeque-mate
4	Possibilidade de xeque-mate em um lance
5	Conhecimento de jogadas e possibilidade de captura de peças

Fonte: Autor

à pergunta ou a tecla N para “não” (CESAR; F. T. ROCHA; THOMAZ, 2015). A Figura 23 mostra um exemplo de pergunta e seu respectivo tabuleiro de xadrez apresentado ao usuário.

Figura 23 – Exemplo de questão e seu respectivo tabuleiro.



Fonte: Autor “adaptado de” Cesar; F. T. Rocha; Thomaz, 2015

Antes do início do teste, o voluntário deve se cadastrar provendo informações sobre o seu nível de escolaridade, idade, área de estudo, gênero, lateralidade e auto-avaliação do nível de proficiência em xadrez, além de receber as instruções verbalizadas de que pode ser gasto o tempo necessário para ler, interpretar e compreender as questões apresentadas, pois o tempo decorrido nessa etapa não é contabilizado.

4.4 PROCESSAMENTO DOS SINAIS

Após a aquisição dos sinais de eletroencefalografia e de movimentos oculares é necessário realizar um processamento dos dados para análise posterior. As subseções seguintes descrevem os métodos de processamento de sinais adotados.

4.4.1 Processamento dos Sinais Cerebrais

Os dados originais obtidos através do OpenBCI não possuem qualquer tipo de pré-processamento. Primeiramente, foi aplicado então um filtro passa alta com frequência de corte de 0.5Hz para retirar o nível DC apresentado no sinal elétrico devido ao componente eletrônico presente no equipamento OpenBCI. Posteriormente, o sinal passou por um filtro passa baixa com frequência de corte de 50Hz. Essa normalmente é a frequência máxima de funcionamento do cérebro (GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009). Por último, foi aplicado filtro rejeita-faixa de 60Hz para remover possíveis ruídos referente à frequência da rede elétrica nacional. Para todas as etapas foram utilizados filtros butterworth, alterando-se apenas as configurações e frequência de corte para cada caso (TEPLAN, 2002).

Depois que os sinais de eletroencefalografia foram filtrados, o processamento dos sinais eletroencefalográficos foi realizado pelo método proposto por Rocha et al. (F. ROCHA et al., 2005), que sintetiza, a cada 2 segundos antes da tomada de decisão, a comunicação entre os agentes neurais especializados nas soluções das jogadas por meio da variação da atividade elétrica registrada por cada um dos eletrodos do EEG. A Figura 24 ilustra o exemplo para sintetizar os dados.

Após as etapas de pré-processamento realizadas, são calculados os coeficientes de correlação linear dos valores de amplitude elétrica registrados por cada um dos eletrodos com relação aos demais. Para tal, adotou-se aqui a correlação de Pearson por ser um teste paramétrico. Após o cálculo de correlação, seus resultados são utilizados para realizar o cálculo de entropia entre os canais. A Equação (2) mostra como é realizado o cálculo baseada na fórmula de entropia de Shannon (SHANNON, 1949):

$$h(c_{i,j}) = -c_{i,j} \log_2 c_{i,j} - (1 - c_{i,j}) \log_2(1 - c_{i,j}), \quad (2)$$

onde $c_{i,j}$ é a correlação entre dois canais distintos. A Equação (2) mostra que, se a correlação entre dois canais for igual a 1 ou igual a 0 a entropia será igual a 0. Por outro lado, se a correlação for igual a 0.5 a entropia será máxima, igual a 1, indicando a possibilidade da atividade elétrica de cada eletrodo estar associada à atividade elétrica de cada um dos demais, ou seja:

$$h(c_{i,j}) \rightarrow 1, \text{ se } c_{i,j} \rightarrow 0.5$$

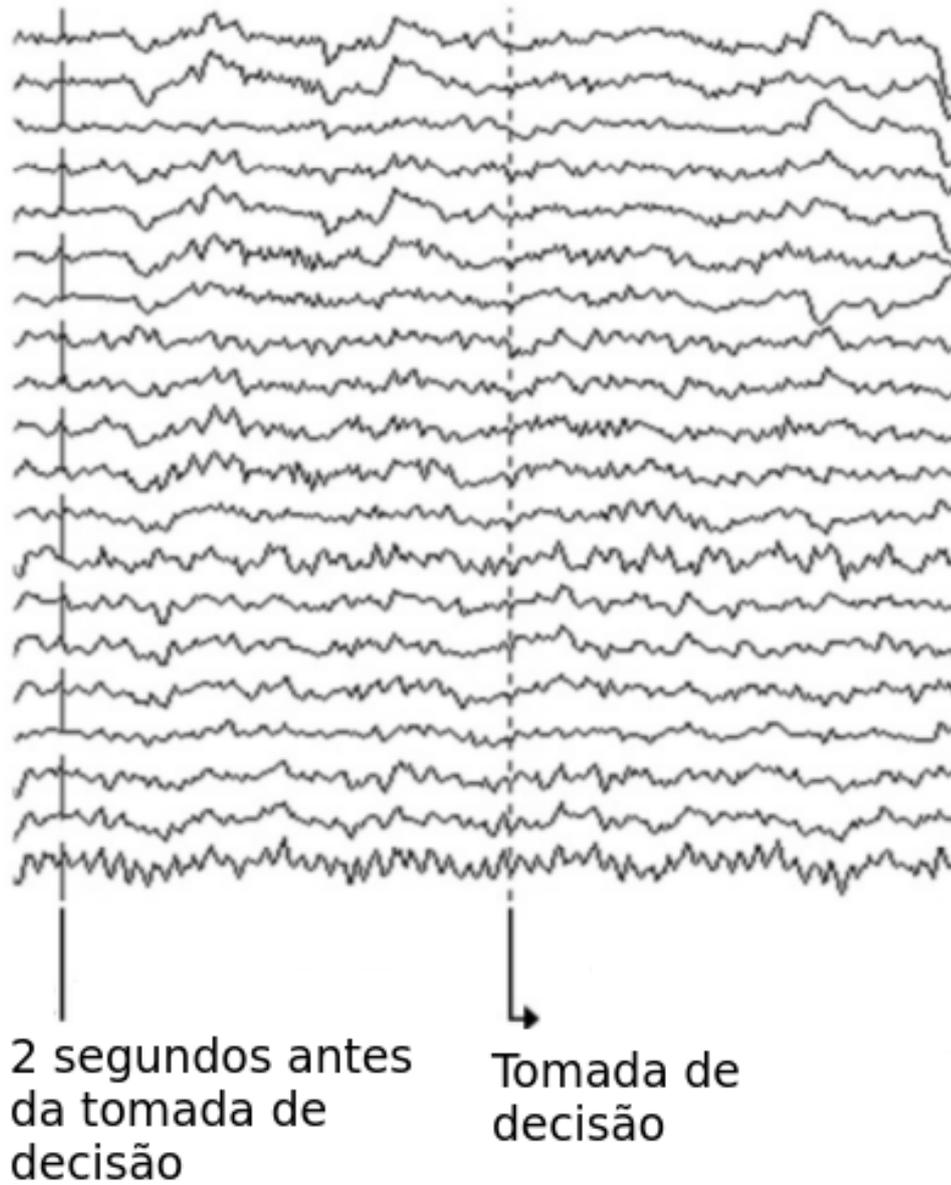
$$h(c_{i,j}) \rightarrow 0, \text{ se } c_{i,j} \rightarrow 1 \text{ ou } c_{i,j} \rightarrow 0$$

Analogamente, a entropia da correlação média de cada eletrodo pode ser calculada de acordo com a Equação (3),

$$h(\bar{c}_i) = -\bar{c}_i \log_2 \bar{c}_i - (1 - \bar{c}_i) \log_2(1 - \bar{c}_i), \quad (3)$$

onde,

Figura 24 – Exemplo de sintetização dos canais de EEG.



Fonte: Autor “adaptado de” F. Rocha et al., 2016

$$\bar{c}_i = \frac{1}{(n-1)} \sum_{j=1}^{n-1} c_{i,j}, \quad (4)$$

e n é a quantidade de eletrodos. Neste caso, $n = 16$.

O fluxo de informação no eletrodo é dado pelo somatório das diferenças entre a entropia de correlação média e as entropias deste eletrodo com os demais canais, ou seja,

$$h(c_i) = \sum_{j=1}^n (h(\bar{c}_i) - h(c_{i,j})). \quad (5)$$

Com os resultados obtidos a partir da Equação (5) e para geração dos mapas de sinais cerebrais, aplicou-se a técnica de Análise de Componentes Principais (PCA) (R.A. JOHNSON; WICHERN, 2007) para encontrar uma base vetorial que represente a maior variância existente entre os dados analisados. Em seguida, outro método foi aplicado, denominado Análise Fatorial (FA), baseado no algoritmo de rotação *varimax* das componentes principais calculadas previamente a partir da matriz de correlação dos dados sintetizados (R.A. JOHNSON; WICHERN, 2007).

Para os resultados mostrados na seção seguinte foram considerados os três primeiros fatores (F1, F2 e F3), aqueles com auto-valor maior que 1 de cada grupo de voluntários (R.A. JOHNSON; WICHERN, 2007). Os mapas de sinais cerebrais são gerados em uma escala de cores começando na cor vermelho, indicando pouca influência da área cerebral para a solução da tarefa, passando pelas cores laranja, amarelo, verde, azul claro, e azul escuro, cor que representa os fatores de cargas maiores que 0.7 em uma escala que varia de 0 a 1 (F. ROCHA et al., 2016; F. ROCHA et al., 2015). A geração dos mapas de sinais cerebrais pode ser descrita de acordo com o Algoritmo 1.

Algoritmo 1 – Algoritmo para geração do mapa de sinais cerebrais.

- 1 **Entrada:** Dados adquiridos pelo equipamento de EEG
- 2 Filtragem dos sinais
- 3 **para cada tomada de decisão faça**
- 4 | Sintetizar os dados 2 segundos antes da tomada de decisão
- 5 **fim**
- 6 **para cada canal faça**
- 7 | Realizar cálculo da correlação de Pearson
- 8 | Realizar cálculo de entropia
- 9 **fim**
- 10 Aplicação do PCA
- 11 Aplicação da FA
- 12 Aplicação da rotação *varimax*
- 13 Selecionar fatores de acordo com o limiar do auto-valor
- 14 **Saída:** Mapa de sinais cerebrais

4.4.2 Processamento dos Dados de Movimento Ocular

A primeira etapa de pré-processamento dos dados de movimentos oculares adquiridos é a interpolação de informações incompletas, que consiste em interpolar os valores ausentes para não prejudicar os cálculos subsequentes, uma vez que considerar a coordenada (0,0) como parte do movimento dos olhos poderia introduzir erros nos cálculos para determinar as fixações. A Equação (6) descreve a fórmula de interpolação linear utilizada para esse fim:

$$P_i = P_s + i \cdot \frac{(P_n - P_s)}{(n - s)}, \quad (6)$$

onde P_i representa os valores ausentes contíguos no vetor, P_s é valor do ponto imediatamente anterior aos pontos ausentes, P_n é valor do ponto imediatamente seguinte aos pontos ausentes com $1 < i < n - s - 1$, sendo n e s valores dos vetores P_s e P_n .

Esta interpolação só é aplicada quando o vetor de pontos ausentes é inferior à 60ms (aproximadamente 20 amostras no dispositivo de rastreamento ocular utilizado). Uma interpolação em um vetor muito grande pode gerar fixações inexistentes. O tempo de 60ms é um tempo muito próximo ao tempo de uma piscada (50 milissegundos em média) (CESAR, 2016), assim, de maneira conservadora, apenas pequenas falhas serão corrigidas (CESAR, 2016).

Em seguida, são filtrados os ruídos gerados pelo próprio equipamento, bem como os micro movimentos dos olhos ou da cabeça. A existência destes ruídos pode prejudicar a detecção de eventos como o da fixação do olhar, pois é preciso detectar a inércia nos movimentos oculares, e os ruídos podem gerar falsos movimentos. A Equação (7) mostra o método de filtragem utilizado, uma média móvel ponderada (CESAR, 2016), tal que:

$$P_j = \frac{1}{\sum_{n=0}^k W_n} \cdot \sum_{n=0}^k P_{j-n} \cdot W_n, \quad (7)$$

onde P_j é um valor no vetor de pontos, W é vetor de pesos, k é o tamanho da janela e P_{i-n} é o valor da n -ésima posição anterior no vetor (quando $n=0$, P_{i-n} será igual a P_i). Neste caso $k = 20$ e W é linearmente decrescente.

Após a etapa de pré-processamento dos dados, é utilizado um algoritmo que detecta as fixações a partir da identificação da inércia dos movimentos oculares em uma determinada localização, chamado de detecção por dispersão (A. T. DUCHOWSKI, 2002; SALVUCCI; GOLDBERG, 2000). Este algoritmo necessita de dois parâmetros para definir as fixações: o *limiar de espaço* que indica a dispersão máxima aceitável para considerar um ponto como pertencente a uma fixação; e o *limiar de tempo* que indica o tempo mínimo para considerar um conjunto de pontos como uma fixação. Esses valores foram configurados iguais a 120 pixels e 120ms, respectivamente (CESAR, 2016).

Para geração dos mapas de movimento ocular, é criada uma matriz quadrada (matriz de pontos) com o mesmo tamanho da imagem original, que recebe a soma de pontos de exposição a partir das fixações de um grupo de participantes. Outra matriz é gerada, cujos valores são preenchidos através de uma função gaussiana. O preenchimento da matriz de pontos se dá pela sobreposição centralizada da matriz da máscara no ponto de cada fixação. Os valores originais da máscara de pontos são somados pelos valores contidos na matriz da máscara ponderados pela duração da fixação (CESAR, 2016). A Figura 25 mostra a matriz da máscara que é utilizada para geração dos mapas de atenção

Os mapas de atenção visual exibem a região do tabuleiro onde cada grupo de voluntários focou seus olhares para solucionar os problemas apresentados através de uma escala de cor que começa na cor verde, indicando que houve poucas fixações naquele local, passando pelas cores amarelo, laranja e vermelho, cor que indica várias fixações naquele ponto. Além disso, a escala

5 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados dos experimentos realizados neste trabalho e está dividido em duas seções: classificação dos participantes e comparação entre grupos. Na primeira seção será descrito o desempenho de cada voluntário e sua separação em grupos de acordo com os resultados dos experimentos. Na seção seguinte, serão analisados os mapas de atenção visual e os mapas de sinais cerebrais dos grupos de voluntários para todas as categorias das questões apresentadas.

5.1 CLASSIFICAÇÃO DOS PARTICIPANTES

Com base nos resultados de proficiência descritos, e objetivando evidenciar o comportamento neural e ocular discriminante entre os voluntários, foram gerados os mapas cognitivos e mapas oculares para dois grupos: grupo mais proficiente com pontuação maior que 18,81 ($H_s > 18,81$) e grupo menos proficiente com pontuação menor que 9,93 ($H_s < 9,93$) através de uma divisão por quartis, em que o primeiro quartil representa o grupo mais proficiente e o último quartil representa o grupo menos proficiente (BUSSAB; MORETTIN, 2010).

A Tabela 3 exibe a quantidade de acertos, tempo total de resposta e ranking ELO, caso exista, para cada voluntário. Os voluntários do grupo mais proficiente são realçados pela cor azul e os voluntários do grupo menos proficiente são realçados pela cor vermelho.

A partir dos dados mostrados na Tabela 3 é possível verificar que todos os voluntários que possuíam ranking ELO ficaram classificados no grupo de maior proficiência e, em sua maioria, obtiveram uma melhor classificação comparando-se com os demais voluntários que não possuíam ranking ELO. Esses resultados comprovam que a participação regular em campeonatos de xadrez melhora o desempenho em testes nessa área.

5.2 COMPARAÇÃO ENTRE GRUPOS

Nesta seção serão comparados os mapas de atenção visual e mapas de sinais cerebrais com base nos resultados de proficiência descritos anteriormente objetivando evidenciar o comportamento neural e ocular discriminante entre os voluntários com maior e menor proficiência em cada categoria de questão.

Para cada categoria são gerados dois mapas de atenção visual e um mapa de sinais cerebrais. A escolha dos mapas de atenção visual é baseada tanto na acurácia das respostas, buscando evidenciar as questões que tiveram diferença da quantidade de acertos entre os grupos, quanto no tempo médio de resposta, em que este parâmetro entre os dois grupos tenha nível de significância $p < 0.05$, valor comumente encontrado na literatura.

Os mapas de sinais cerebrais são gerados a partir dos três principais fatores (F1, F2 e F3) que melhor caracterizam as ativações cerebrais através dos cálculos descritos no capítulo 4

Tabela 3 – Ordenação dos voluntários.

Participante	Acertos	Hs	Tempo total de resposta	Ranking ELO
5	45	79,32	02m01s	1967
6	48	34,48	08m14s	1940
14	48	29,97	10m49s	1789
11	39	28,05	07m18s	
13	47	24,39	11m37s	
8	42	23,77	09m26s	1550
33	40	22,17	08m29s	
12	43	20,12	10m15s	
10	39	18,38	09m07s	
17	40	18,26	09m26s	
3	43	18,10	09m26s	
16	45	17,08	14m21s	
9	47	16,36	15m33s	
15	44	16,05	14m10s	
31	38	15,97	11m22s	
7	41	15,33	13m11s	
34	36	13,79	08m59s	
21	43	13,71	14m44s	
28	39	13,60	12m45s	
4	39	13,41	07m54s	
19	34	13,01	09m42s	
24	41	12,49	13m02s	
26	40	12,06	14m01s	
22	42	10,17	20m39s	
27	34	9,20	12m23s	
20	34	8,38	12m30s	
18	33	8,11	10m42s	
29	38	7,67	16m24s	
32	33	7,55	11m13s	
30	32	5,35	12m42s	
25	29	3,51	13m08s	
23	28	2,66	14m19s	

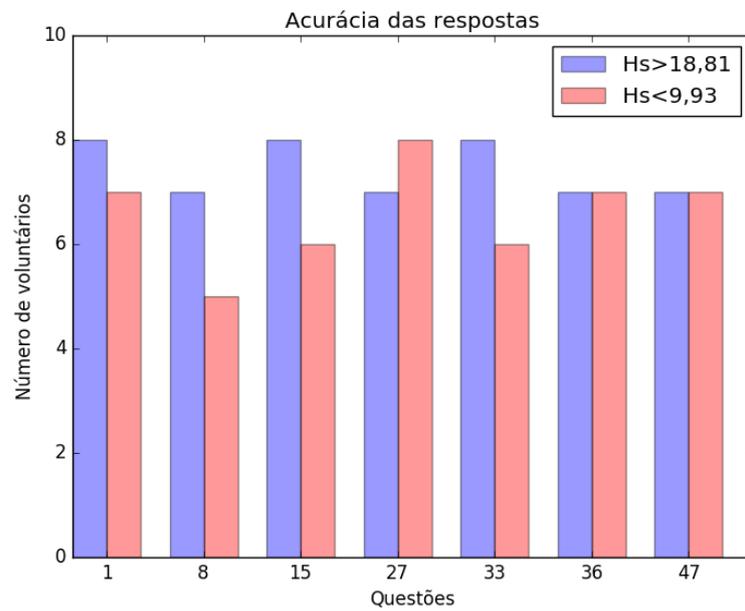
Fonte: Autor

(entropia, PCA e FA). Os resultados são exibidos pela ordem crescente dos auto-valores (k_1 , k_2 e k_3), porém não há maior relevância entre cada um dos fatores (F_1 , F_2 e F_3).

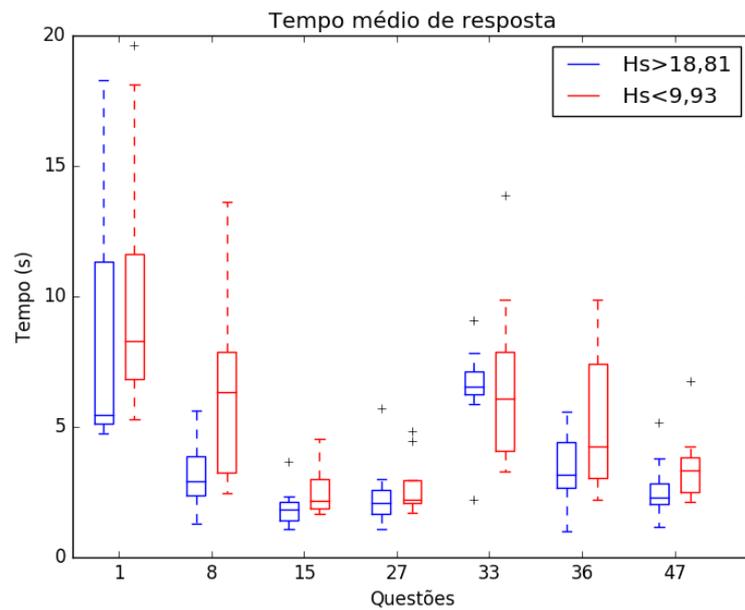
5.2.1 Categoria 1: Reconhecimento de peças e posicionamento

Para a categoria 1, o voluntário analisa a quantidade, o tipo e o posicionamento de peças de xadrez. A Figura 26 mostra o desempenho de ambos os grupos com relação à quantidade de acertos e tempo médio de resposta.

Figura 26 – Categoria 1.



(a) Acurácia das respostas.



(b) Tempo médio de resposta.

Fonte: Autor

A Figura 26a mostra que para a categoria 1, o grupo de maior proficiência teve 7 ou 8 acertos dentre 8 possíveis para cada questão enquanto que o grupo de menor proficiência variou a quantidade de acertos por questão. Com relação ao tempo médio de resposta observado na Figura 26b, verifica-se que no geral o grupo menos proficiente levou mais tempo para responder

as questões apresentadas, em que a questão 8 teve a maior diferença das questões apresentadas tanto na acurácia quanto no tempo médio de resposta.

5.2.1.1 Mapas de Atenção Visual

Baseado nas informações fornecidas na Figura 26, são gerados mapas de atenção visual para as questões 1 e 8. Para a questão 1 ($p = 0.0063$), o grupo mais proficiente teve um acerto a mais que o outro grupo. Para a questão 8 ($p = 0.0046$), o grupo menos proficiente acertou duas questões a menos que o outro grupo. As Figuras 27 e 28 exibem os mapas de atenção visual para as questões 1 e 8, respectivamente.

As Figuras 27a e 27b representam respectivamente os mapas de atenção visual dos grupos com maior e menor proficiência. Verifica-se que ambos os grupos fixaram seus olhares em regiões parecidas do tabuleiro, onde o grupo de maior proficiência não focou seus olhares na parte superior do diagrama ao contrário do grupo de menor proficiência. Essa diferença pode estar relacionada à experiência dos voluntários, pois na região superior do tabuleiro normalmente não são encontrados peões, peça relacionada à questão 1.

A Figura 28a mostra o mapa de atenção visual para o grupo de maior proficiência que focou seus olhares em uma área menor do tabuleiro comparando-se com a área do foco de atenção do grupo de menor proficiência mostrado na Figura 28b. A área observada pelo grupo de maior proficiência explica o porquê do tempo médio de resposta para essa pergunta ser menor em relação ao outro grupo e, analisando-se um espaço menor do diagrama apresentado, o grupo mais proficiente teve melhor desempenho nessa questão.

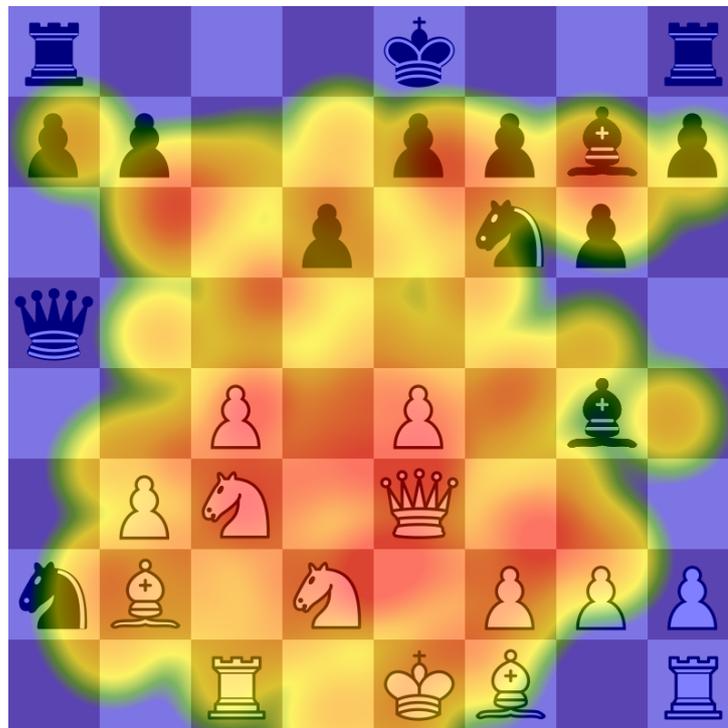
5.2.1.2 Mapas de Sinais Cerebrais

Para essa mesma categoria, foram gerados mapas de sinais cerebrais para os grupos mais proficientes e menos proficientes, representados na Figura 29.

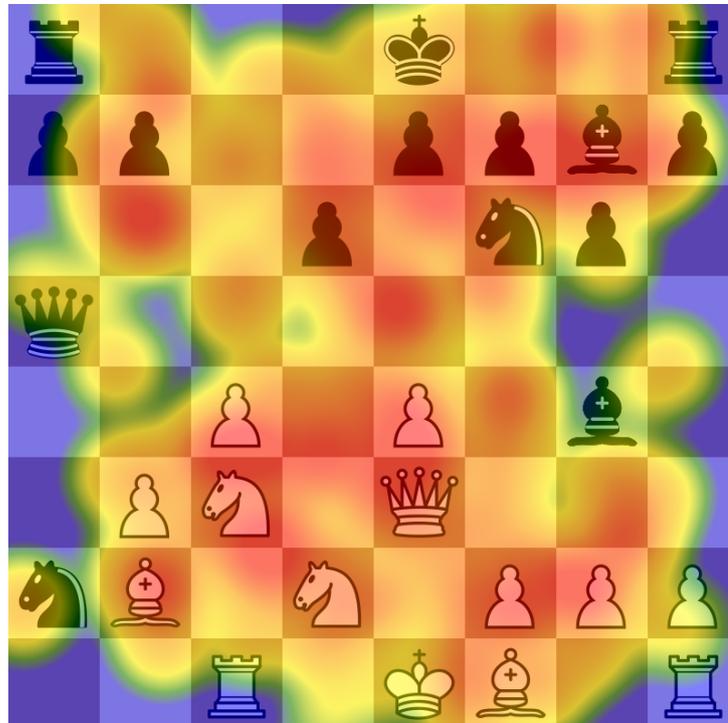
Analisando-se a Figura 29a nota-se que o grupo com maior proficiência teve uma ligação mais forte no fator F1 entre os eletrodos na área centro-parietal, área envolvida com o processamento visuo-espacial (VANLIERDE et al., 2003; BASTIAANSEN et al., 2002). O fator F2 mostra uma associação entre os eletrodos Fp1, Fp2, F3, F4 e F8 que representam a área do lobo frontal, região relacionada ao planejamento e memória (MARTIN, 2014; GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009). O terceiro fator, F3, apresentou fator de carga maior que 0,7 apenas para o eletrodo O1, sem fortes ligações com outras regiões cerebrais.

Os mapas de sinais cerebrais dos grupo de menor proficiência apresentado na Figura 29b mostram que o fator F1 apresenta um conjunto de agentes nas regiões occipito-parietal envolvendo os eletrodos O1, O2, P3 e P4 e os eletrodos C3, T3 e T5 no hemisfério esquerdo. Essas ligações estão relacionadas a percepção visual e espacial (VANLIERDE et al., 2003). Os eletrodos Fp1, Fp2, F3 e F4 apresentaram uma forte ligação localizados na área frontal do

Figura 27 – Mapas de atenção visual para a questão 1 da categoria 1.



(a) Grupo mais proficiente.

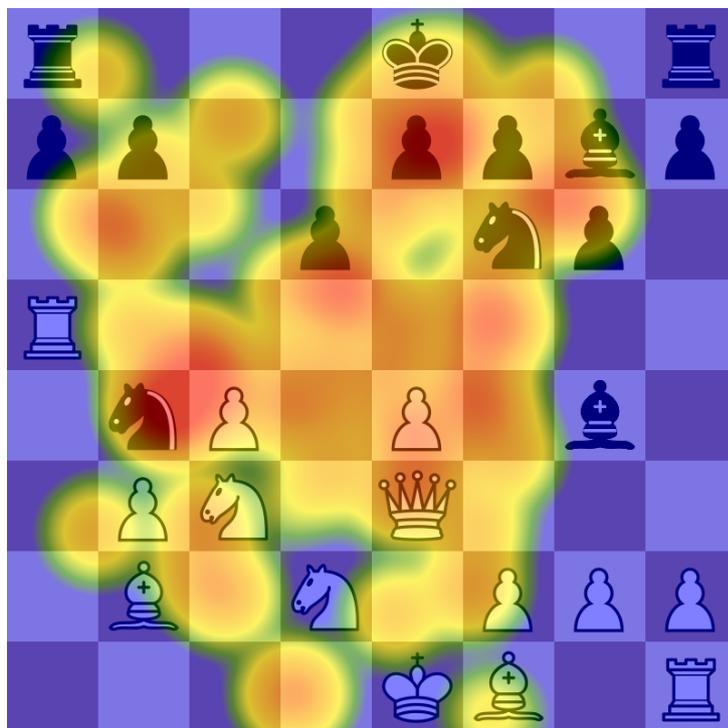


(b) Grupo menos proficiente.

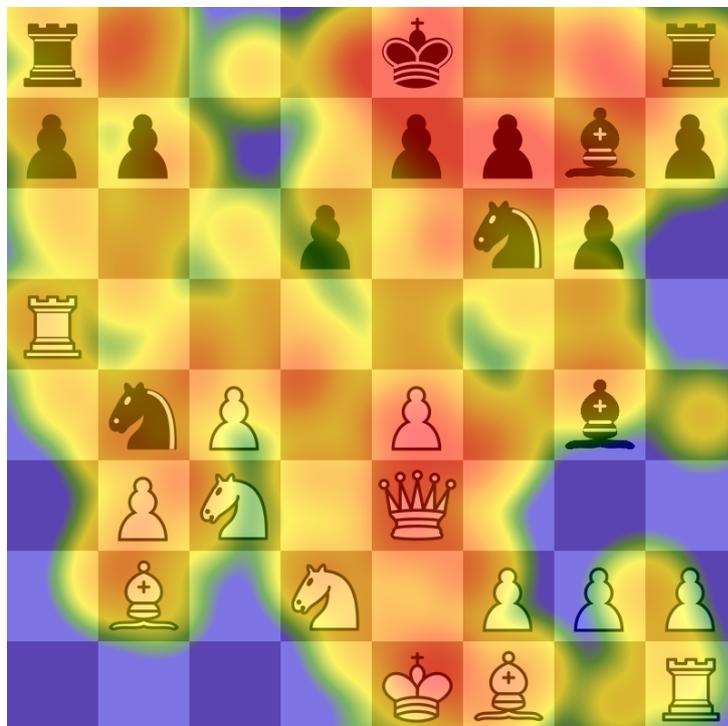
Fonte: Autor

Legenda: AMBOS os jogadores possuem a MESMA QUANTIDADE de PEÕES? (NÃO)

Figura 28 – Mapas de atenção visual para a questão 8 da categoria 1.



(a) Grupo mais proficiente.

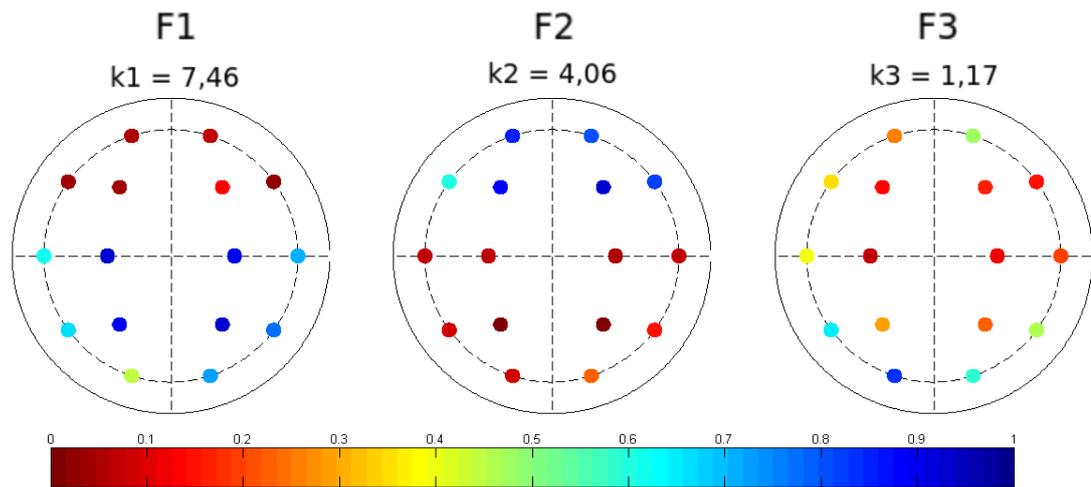


(b) Grupo menos proficiente.

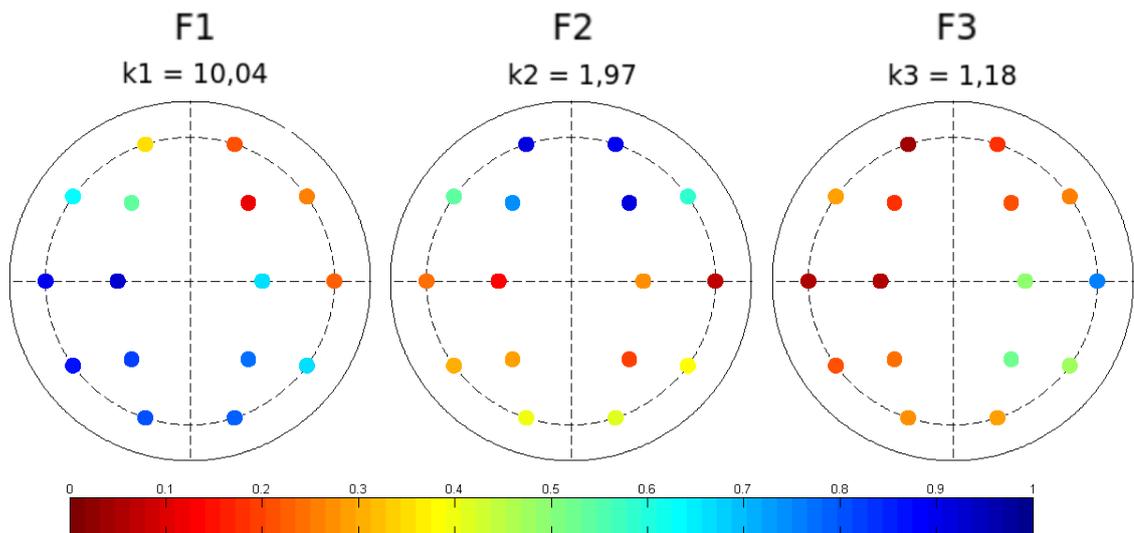
Fonte: Autor

Legenda: A DAMA PRETA está no tabuleiro? (NÃO)

Figura 29 – Mapas de sinais cerebrais para a categoria 1.



(a) Grupo mais proficiente.



(b) Grupo menos proficiente.

Fonte: Autor

cérebro, área relacionada ao planejamento e memória (MARTIN, 2014; GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009). O terceiro fator F3, apresentou fator de carga maior que 0,7 apenas para o eletrodo T4, sem fortes ligações com outras regiões cerebrais.

Comparando-se os mapas de sinais cerebrais da Figura 29, verifica-se que os dois grupos tiveram ativações cerebrais semelhantes em todos os fatores. As questões que compõem essa categoria envolvem visualizar um diagrama apresentado, algo que envolve a percepção visual, e em seguida analisar essa situação comparando-as com as regras do jogo de xadrez, ativando-se o raciocínio e memória, através dos neurônios frontais do cérebro.

5.2.2 Categoria 2: Reconhecimento de situações de xeque

O objetivo das questões que pertencem a categoria 2 é verificar se o voluntário é capaz de identificar uma situação de xeque, em que a peça do rei sofre ameaça de captura e existe a possibilidade de sair dessa situação (VOLKE et al., 2002). A Figura 30 mostra o desempenho de ambos os grupos com relação à quantidade de acertos e tempo médio de resposta.

A categoria 2 foi a que apresentou o maior número de respostas corretas dentre todas as categorias apresentadas. De acordo com a Figura 30a o grupo de maior proficiência teve apenas um erro na questão 50 e o grupo de menor proficiência variou a quantidade de acertos por questão com bom desempenho em todas elas. Analisando-se o tempo médio de resposta da Figura 30b, observa-se que o grupo mais proficiente respondeu todas as questões dessa categoria em menor tempo comparando-se com o grupo menos proficiente.

5.2.2.1 Mapas de Atenção Visual

Baseado nas informações fornecidas na Figura 30, são gerados mapas de atenção visual para as questões 17 e 50. Para a questão 17 ($p = 0.0045$), o grupo mais proficiente teve três acertos a mais que o outro grupo. Para a questão 50 ($p = 0.0001$), o grupo menos proficiente acertou uma questão a mais que o outro grupo. As Figuras 31 e 32 exibem os mapas de atenção visual para as questões 17 e 50, respectivamente.

A Figura 31a mostra que o grupo mais proficiente fixou a maior parte de seus olhares na região superior do diagrama apresentado, região onde se encontra a solução dessa questão. O grupo menos proficiente também focou a maior parte de sua atenção visual na parte superior do diagrama, porém também teve uma parte representativa de seu foco voltada para a parte inferior do diagrama, conforme mostra a Figura 31b.

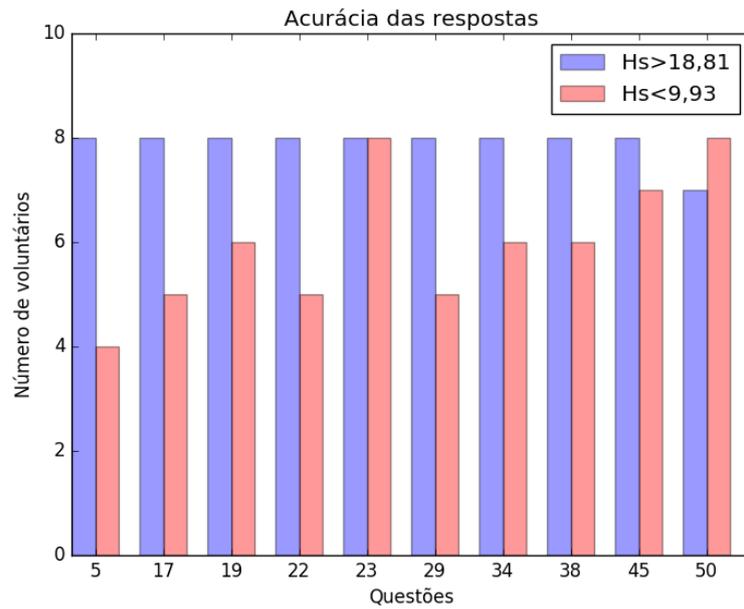
O mapa de atenção visual do grupo de maior proficiência da Figura 32a apresenta que os voluntários desse grupo não precisaram visualizar todo o tabuleiro para responder a questão, enquanto que a Figura 32b mostra que esse grupo observou todas as peças presentes no tabuleiro.

5.2.2.2 Mapas de Sinais Cerebrais

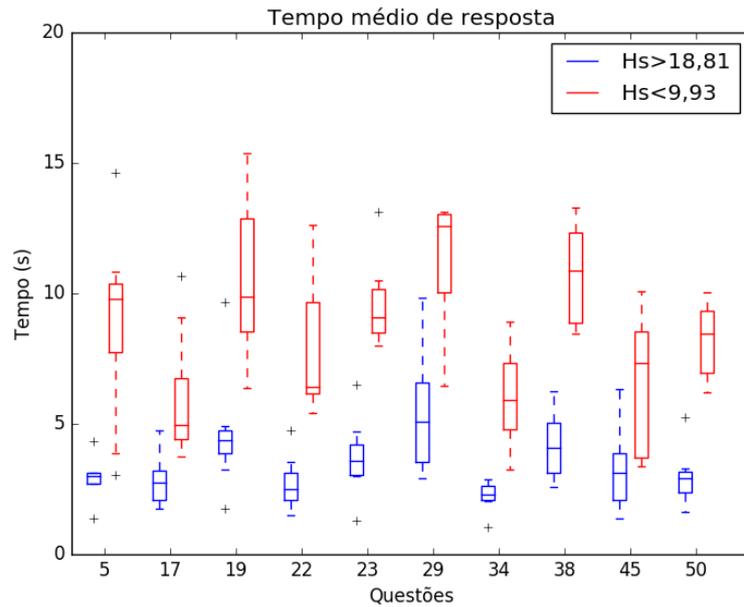
Para essa mesma categoria, foram gerados mapas de sinais cerebrais para os grupos mais proficientes e menos proficientes, representados na Figura 33.

De acordo com a Figura 33a verifica-se que o grupo com maior proficiência teve uma ligação mais forte no fator F1 entre os eletrodos C3, C4, O1, O2 e T5, em que esse conjunto de agente pode estar ligado ao processo visual primário na área occipital e os outros eletrodos relacionados ao processamento visuo-espacial (GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009; VANLIERDE et al., 2003; BASTIAANSEN et al., 2002). O fator F2 mostra uma associação entre

Figura 30 – Categoria 2.



(a) Acurácia das respostas.

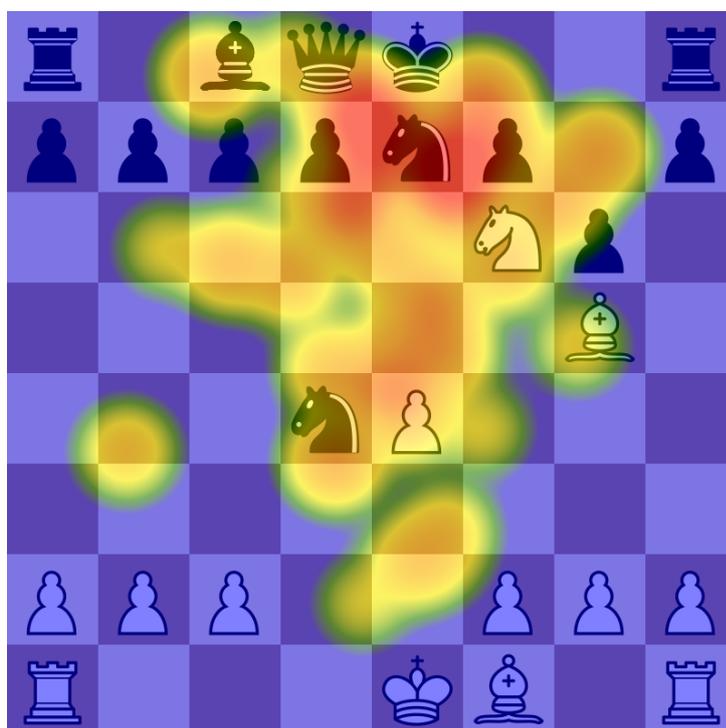


(b) Tempo médio de resposta.

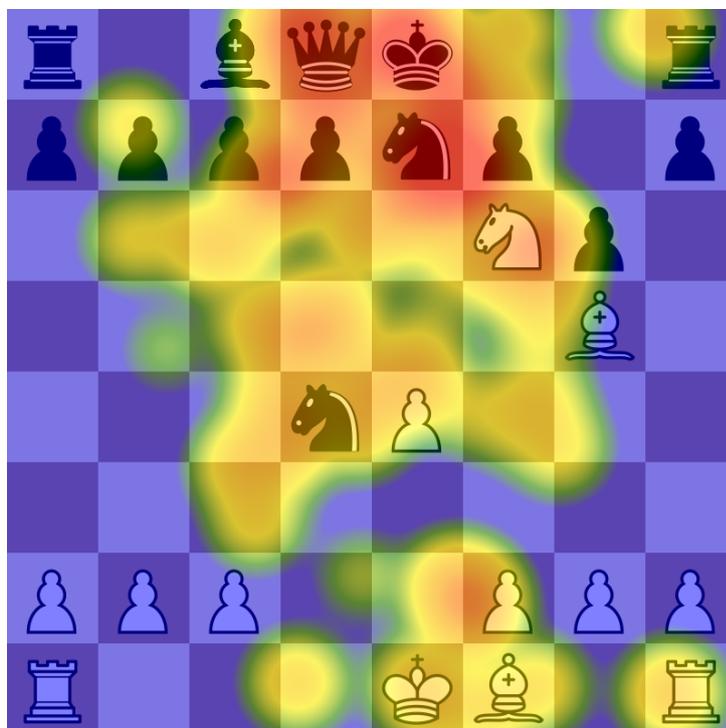
Fonte: Autor

os eletrodos Fp1, Fp2, F3, F4 e F8 que representam as áreas dos lobos frontais, relacionadas ao planejamento e memória (MARTIN, 2014; GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009). O fator F3 apresenta uma ligação entre os eletrodos P3, P4, T3 e T4 que pode estar ligado a interpretação da questão mostrada de forma escrita apresentada anteriormente (MARTIN, 2014; MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH, 2009).

Figura 31 – Mapas de atenção visual para a questão 17 da categoria 2.



(a) Grupo mais proficiente.

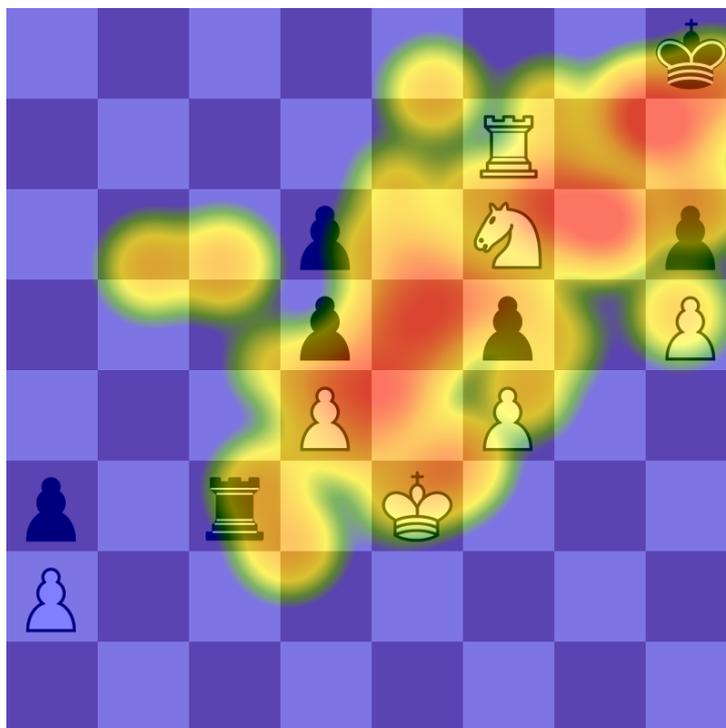


(b) Grupo menos proficiente.

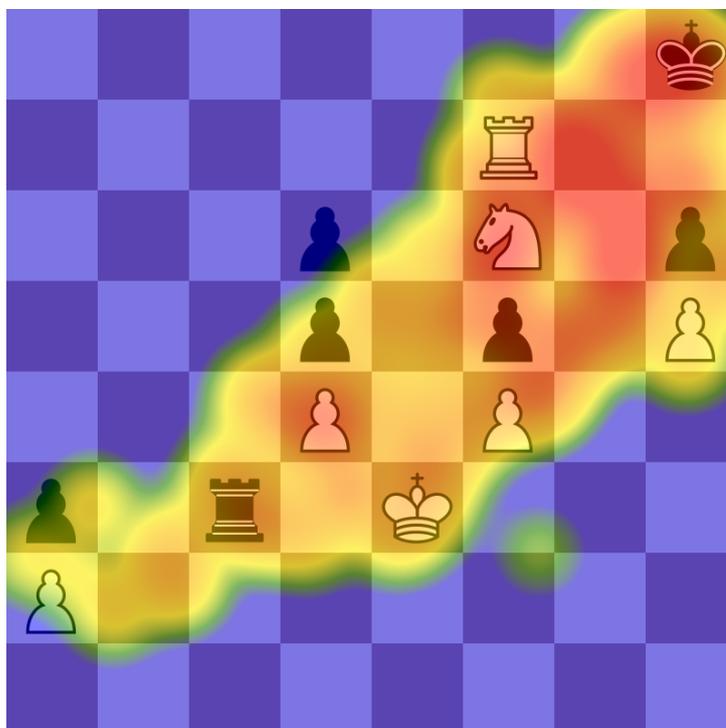
Fonte: Autor

Legenda: O REI PRETO está em XEQUE? (SIM)

Figura 32 – Mapas de atenção visual para a questão 50 da categoria 2.



(a) Grupo mais proficiente.

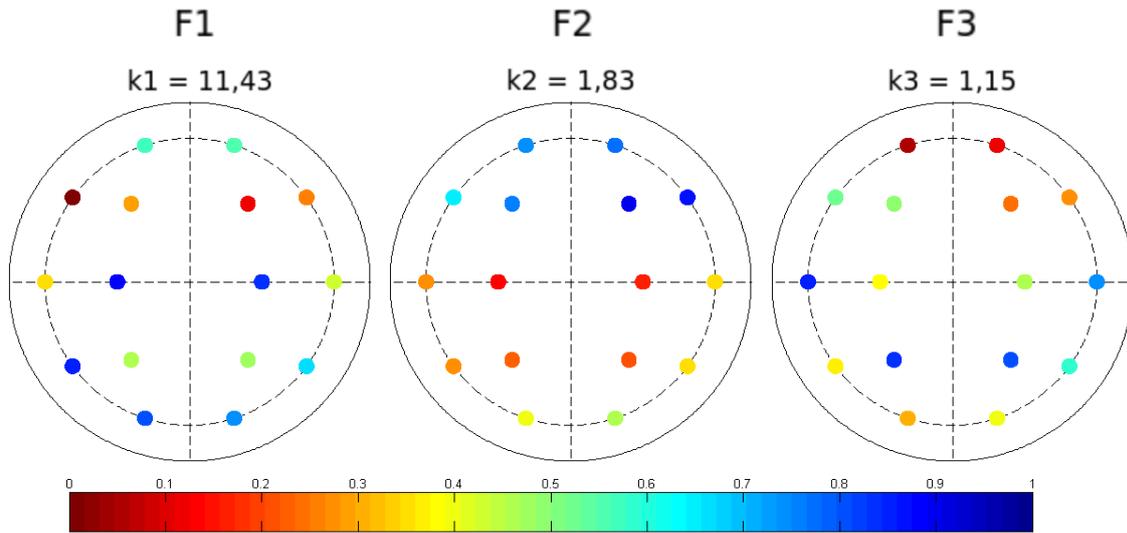


(b) Grupo menos proficiente.

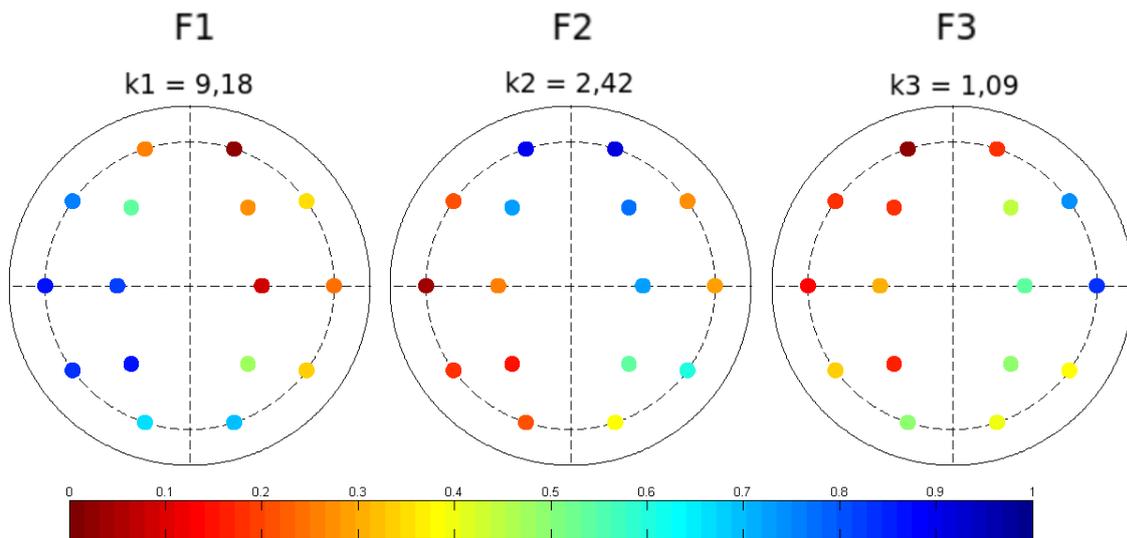
Fonte: Autor

Legenda: O REI PRETO está em XEQUE? (NÃO)

Figura 33 – Mapas de sinais cerebrais para a categoria 2.



(a) Grupo mais proficiente.



(b) Grupo menos proficiente.

Fonte: Autor

As ativações cerebrais do grupo com menor proficiência mostradas na Figura 33b revelam que o primeiro fator F1 teve forte ligação no hemisfério esquerdo entre os eletrodos C3, F7, P3, T3 e T5, região associada a composição das redes fonológicas, semânticas e de processamento de sentenças (F. ROCHA et al., 2016; VIGNEAU et al., 2006). O segundo fator F2 apresenta forte ligação entre os eletrodos C4, F3, F4, Fp1 e Fp2 que pode estar relacionado ao pensamento sobre a regra do jogo de xadrez.

As questões dessa categoria exigem que o voluntário conheça a regra do jogo de xadrez e identifique se essa regra é aplicável para a situação específica apresentada. De acordo com a Figura 33 observa-se que ambos os grupos tem maior ativação cerebral na área do lobo frontal para o F2, que pode estar ligado à memória e raciocínio lógico para a regra de xeque do jogo de

xadrez. O fator F1 mostra que o grupo de maior proficiência processou a imagem exibida das questões enquanto que o grupo de menor proficiência interpretou as perguntas realizadas.

5.2.3 Categoria 3: Reconhecimento de situações de xeque-mate

A categoria 3 apresenta questões em que o voluntário analisa situações de xeque-mate, em que a peça do rei sofre ameaça de captura e não existe a possibilidade de sair dessa situação, encerrando-se uma partida de xadrez (VOLKE et al., 2002). A Figura 34 mostra o desempenho de ambos os grupos com relação à quantidade de acertos e tempo médio de resposta.

A Figura 34a mostra que os dois grupos obtiveram bom desempenho para essa categoria, sendo que o grupo mais proficiente teve mais acertos em quase todas as questões, exceto a questão 44 em que o grupo menos proficiente teve um acerto a mais. Comparando-se o tempo médio de resposta entre os dois grupos da Figura 34b, nota-se o grupo com menor proficiência levou mais tempo para analisar as questões apresentadas e responde-las, além da diferença entre o voluntário que respondeu mais rapidamente e o que levou mais tempo ser maior para o grupo menos proficiente.

5.2.3.1 Mapas de Atenção Visual

Baseado nas informações fornecidas na Figura 34, são gerados mapas de atenção visual para as questões 30 e 44. Para a questão 30 ($p = 0.0063$), o grupo mais proficiente teve três acertos a mais que o outro grupo. Para a questão 44 ($p = 0.0173$), o grupo menos proficiente acertou uma questão a mais que o outro grupo. As Figuras 35 e 36 exibem os mapas de atenção visual para as questões 30 e 44, respectivamente.

Os mapas de atenção visual do grupo mais proficiente representado na Figura 35a e para o grupo menos proficiente na Figura 35b mostram que a maior parte das fixações dos olhares estão no canto superior esquerdo do diagrama apresentado, além de menos fixações nas regiões do canto superior direito e parte central, áreas que também fazem parte da solução do problema.

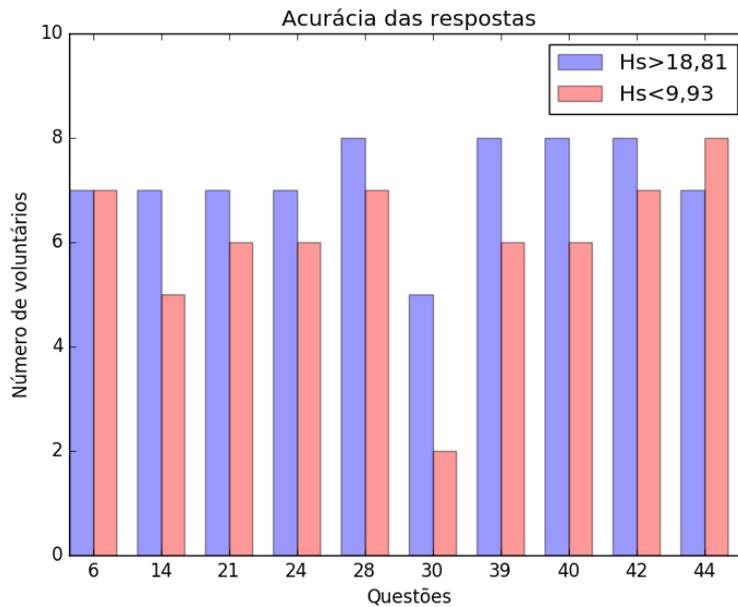
Comparando-se as Figuras 36a e 36b para os grupos de maior e menor proficiência, respectivamente, verifica-se que ambos os grupos focam seus olhares no canto superior direito do diagrama e o grupo menos proficiente fixa seus olhares em uma área maior que o grupo mais proficiente.

5.2.3.2 Mapas de Sinais Cerebrais

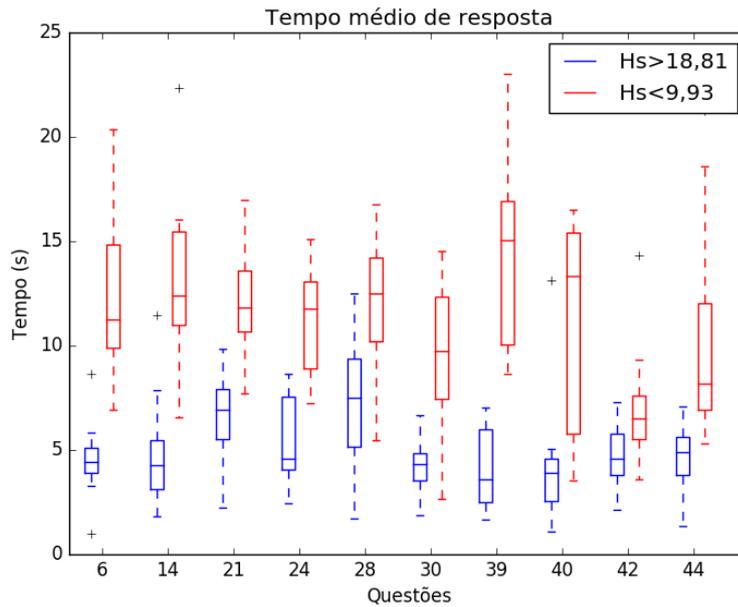
Para essa mesma categoria, foram gerados mapas de sinais cerebrais para os grupos mais proficientes e menos proficientes, representados na Figura 37.

O mapa de sinais cerebrais do grupo de maior proficiência da Figura 37a apresenta um conjunto de agentes para o fator F1 entre os eletrodos O1, O2, P3, C3, T5 e T6, áreas

Figura 34 – Categoria 3.



(a) Acurácia das respostas.



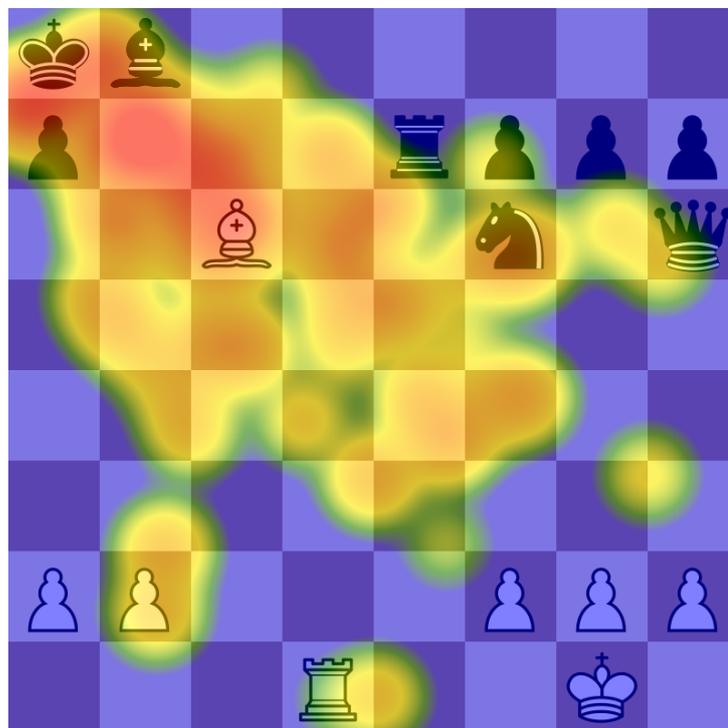
(b) Tempo médio de resposta.

Fonte: Autor

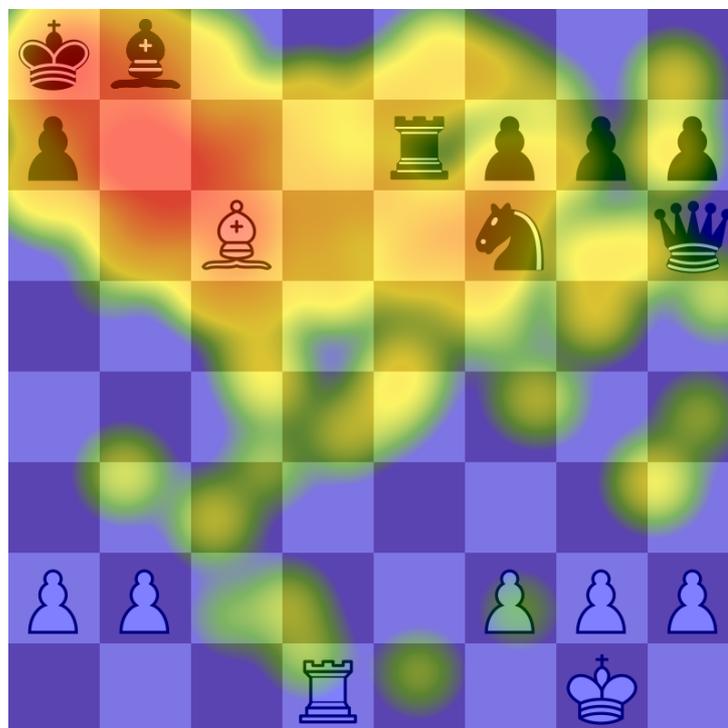
relacionadas a percepção visual e espacial (VANLIERDE et al., 2003). A área frontal exibe forte ligação entre os eletrodos Fp1, Fp2, F3, F4 e F8 para o fator F2, área relacionada ao planejamento e memória (MARTIN, 2014; GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009).

Para essa categoria, o mapa de sinais cerebrais da Figura 37b do grupo de menor proficiência apresenta um conjunto de agentes na região parieto-occipital (eletrodos O1, O2, P3 e

Figura 35 – Mapas de atenção visual para a questão 30 da categoria 3.



(a) Grupo mais proficiente.

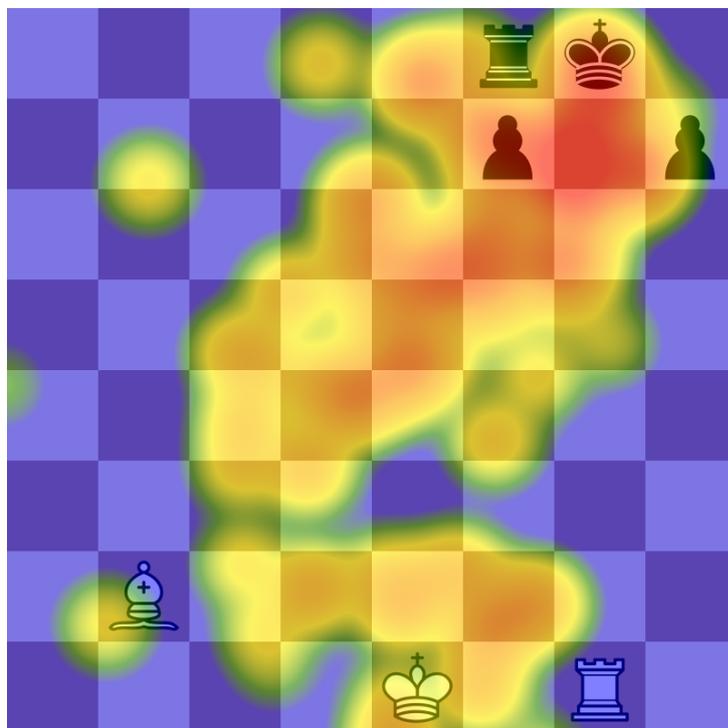


(b) Grupo menos proficiente.

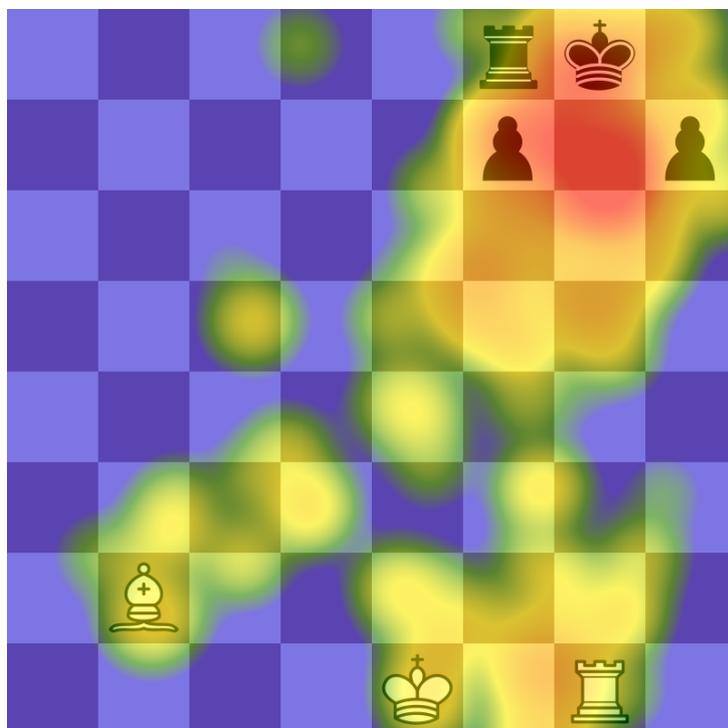
Fonte: Autor

Legenda: O REI PRETO está em XEQUE-MATE? (NÃO)

Figura 36 – Mapas de atenção visual para a questão 44 da categoria 3.



(a) Grupo mais proficiente.

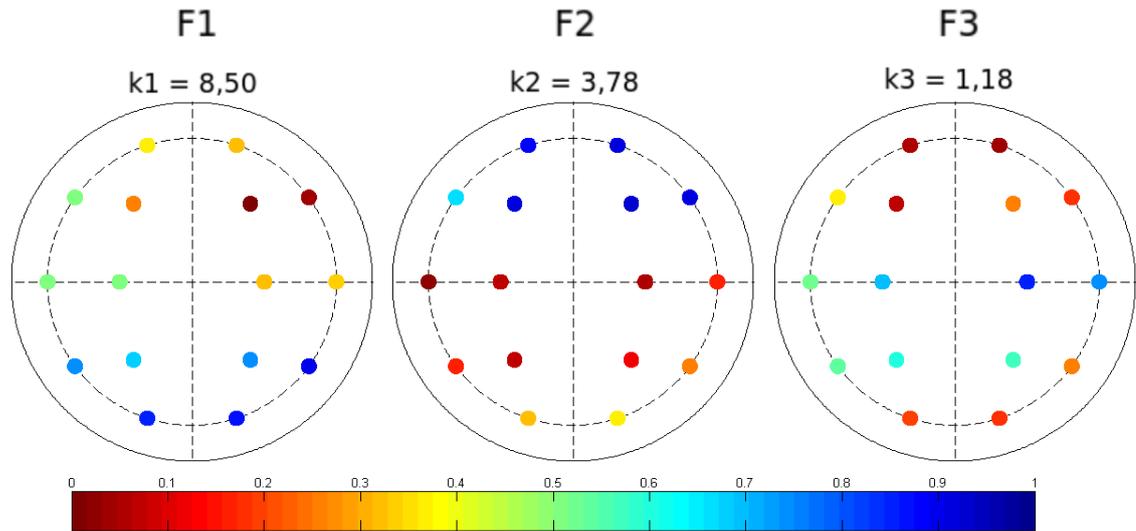


(b) Grupo menos proficiente.

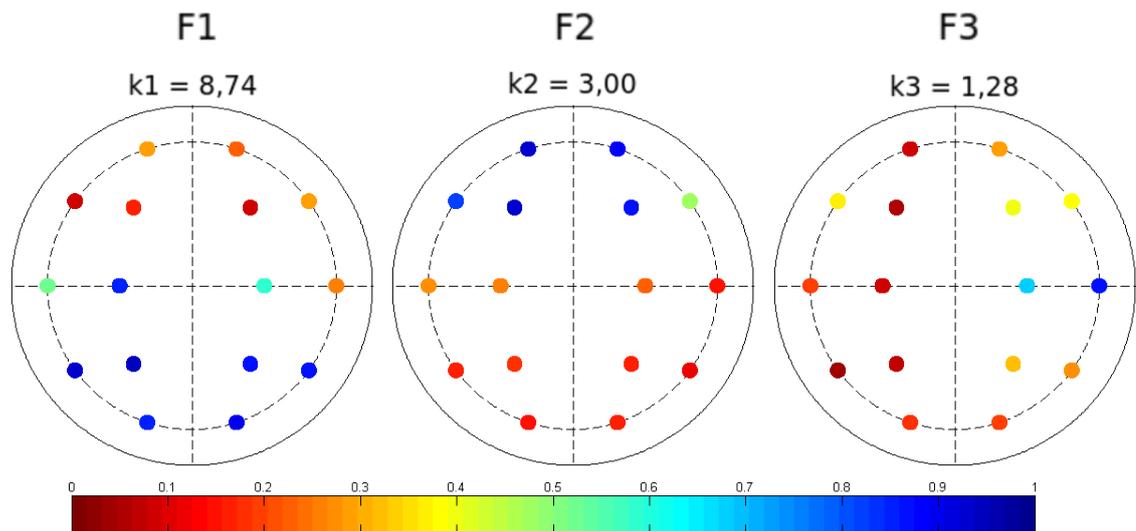
Fonte: Autor

Legenda: O REI PRETO está em XEQUE-MATE? (SIM)

Figura 37 – Mapas de sinais cerebrais para a categoria 3.



(a) Grupo mais proficiente.



(b) Grupo menos proficiente.

Fonte: Autor

P4) e os eletrodos C3, T5 e T6, áreas relacionadas a percepção visual e espacial (VANLIERDE et al., 2003). O fator F2 mostra forte ligação entre os eletrodos Fp1, Fp2, F3, F4 e F7, regiões do lobo frontal relacionadas ao planejamento e memória (MARTIN, 2014; GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009).

Semelhante à categoria 2 apresentada anteriormente, a categoria 3 é composta por questões que exigem que o voluntário conheça a regra de xeque-mate do jogo de xadrez e identifique se essa regra é aplicável para a situação específica apresentada. A Figura 37 mostra que, assim como ocorreu na categoria 2, ambos os grupos tem maior ativação cerebral na área do lobo frontal para o F2, que pode estar ligado à memória e raciocínio lógico para a regra de xeque-mate do

jogo de xadrez. O fator F1 mostra que os dois grupos tiveram ativações cerebrais semelhantes, em que as ligações estão concentradas na regiões relacionadas ao processamento de imagens.

5.2.4 Categoria 4: Possibilidade de xeque-mate em um lance

Essa categoria consiste em analisar o diagrama apresentado e verificar se uma peça pode realizar um único movimento que acarrete em uma jogada chamada de xeque-mate (VOLKE et al., 2002). A Figura 38 mostra o desempenho de ambos os grupos com relação à quantidade de acertos e tempo médio de resposta.

Essa categoria de questões é considerada a mais difícil dentre as categorias que foram selecionadas para realização dos experimentos. Os gráficos apresentados na Figura 38 retratam a dificuldade dessa categoria em que somente a questão 32 teve 100% de acurácia do grupo de maior proficiência enquanto que o grupo de menor proficiência teve em sua maioria 50% ou menos de voluntários que responderam corretamente as questões, além do tempo médio de resposta ser maior que em todas as outras categorias, indicando que houve maior esforço dos voluntários para analisar as questões e solucioná-las.

5.2.4.1 Mapas de Atenção Visual

Baseado nas informações fornecidas na Figura 38, são gerados mapas de atenção visual para as questões 16 e 32. Para a questão 16 ($p = 0.0183$), o grupo mais proficiente teve um acerto a mais que o outro grupo. Para a questão 32 ($p = 0.0213$), o grupo menos proficiente acertou quatro questões a menos que o outro grupo. As Figuras 39 e 40 exibem os mapas de atenção visual para as questões 16 e 32, respectivamente.

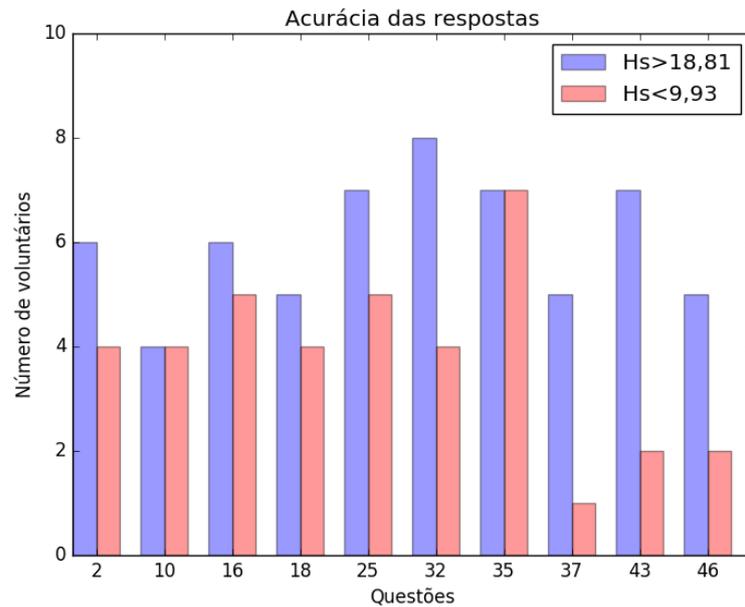
Comparando-se a Figura 39a e a Figura 39b, que mostram os mapas de atenção visual dos grupos com maior e menor proficiência, respectivamente, observa-se que o grupo mais proficiente teve a maior parte de sua atenção voltada para partes relevantes do diagrama para a solução do problema apresentado enquanto que o grupo menos proficiente dispersou sua atenção em locais da cena onde não se encontravam soluções para a questão.

Os mapas de atenção visual da Figura 40a para o grupo mais proficiente e da Figura 40b para o grupo menos proficiente mostram que ambos os grupos apresentaram fixações equivalentes para o diagrama apresentado, porém apesar das semelhanças, o grupo com maior proficiência teve melhor desempenho nessa questão.

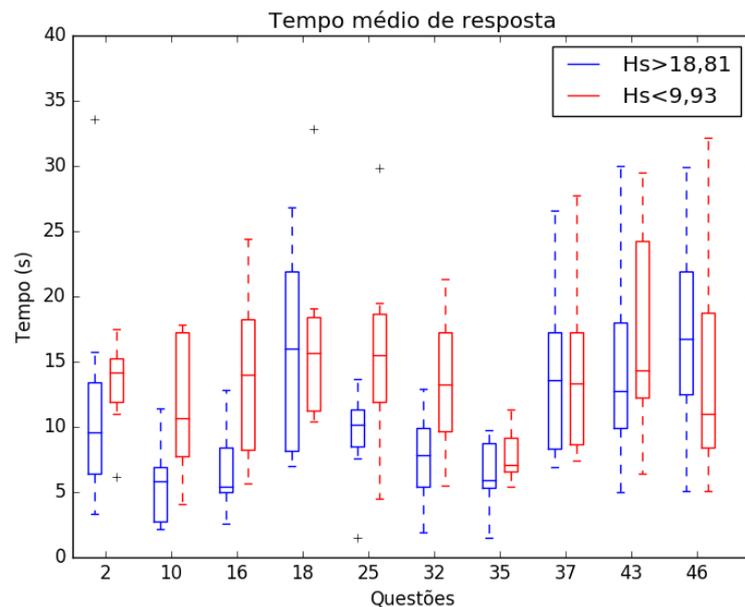
5.2.4.2 Mapas de Sinais Cerebrais

Para essa mesma categoria, foram gerados mapas de sinais cerebrais para os grupos mais proficientes e menos proficientes, representados na Figura 41.

Figura 38 – Categoria 4.



(a) Acurácia das respostas.

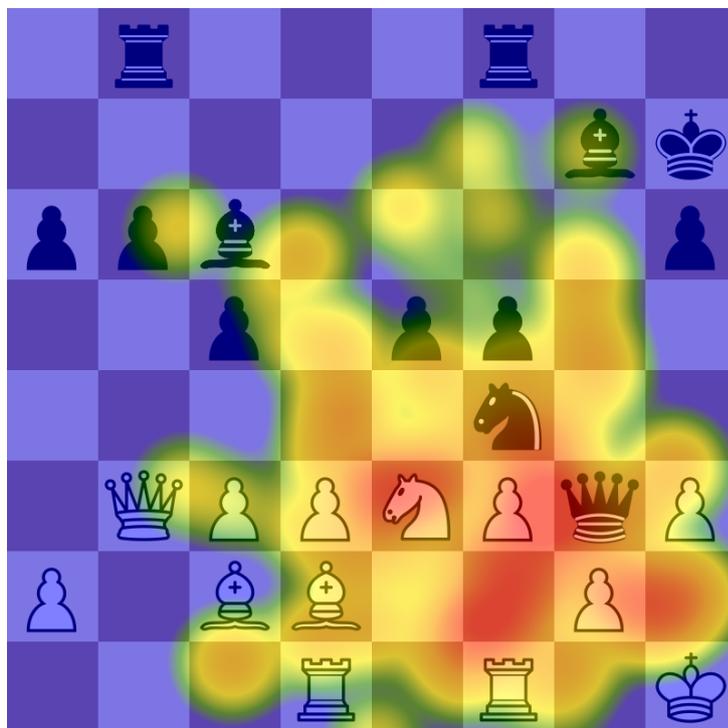


(b) Tempo médio de resposta.

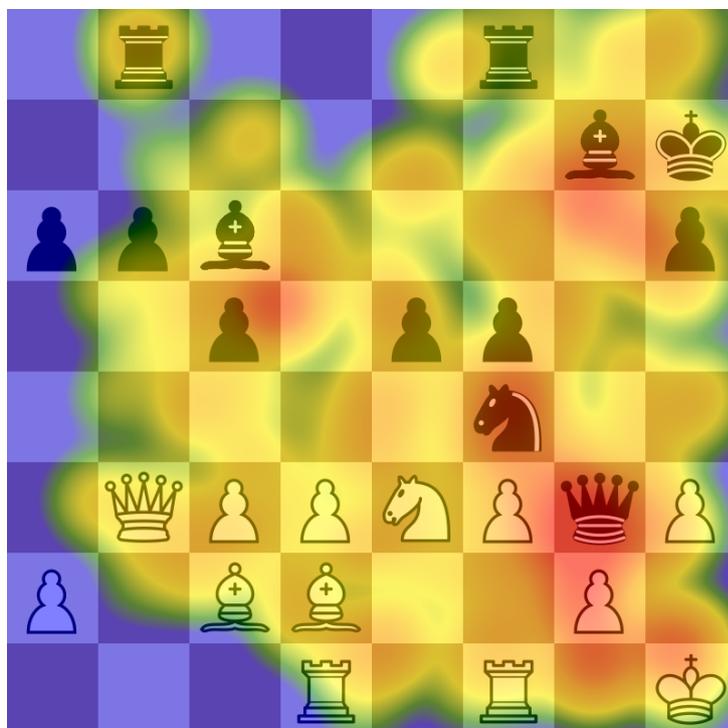
Fonte: Autor

Analisando-se a Figura 41a nota-se que o grupo com maior proficiência teve uma ligação mais forte no fator F1 entre os eletrodos na área dos lobos frontais, área relacionada ao planejamento e memória (MARTIN, 2014; GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009). O fator F2 mostra uma associação entre os eletrodos C3, C4, P3 e P4, que representam as áreas parieto-centrais envolvidas com o processamento visuo-espacial, além dos eletrodos T3 e T4

Figura 39 – Mapas de atenção visual para a questão 16 da categoria 4.



(a) Grupo mais proficiente.

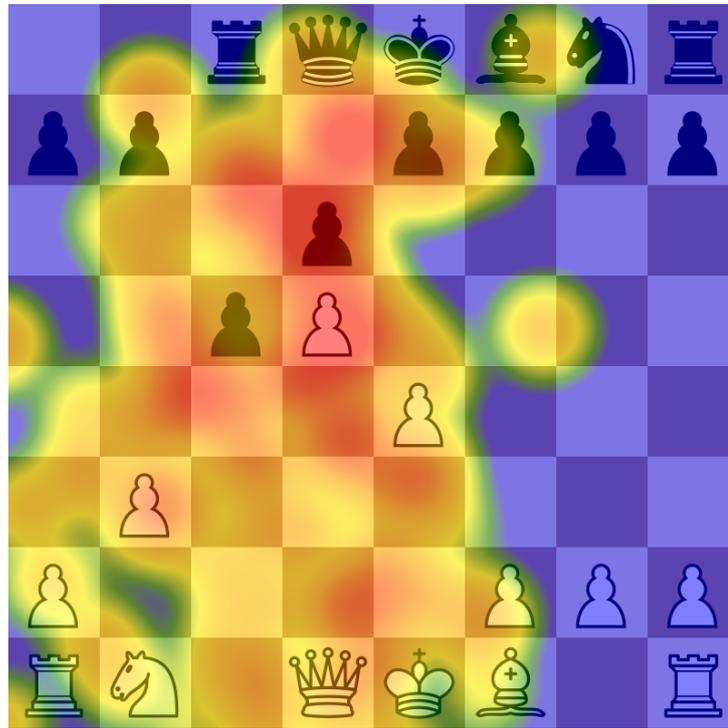


(b) Grupo menos proficiente.

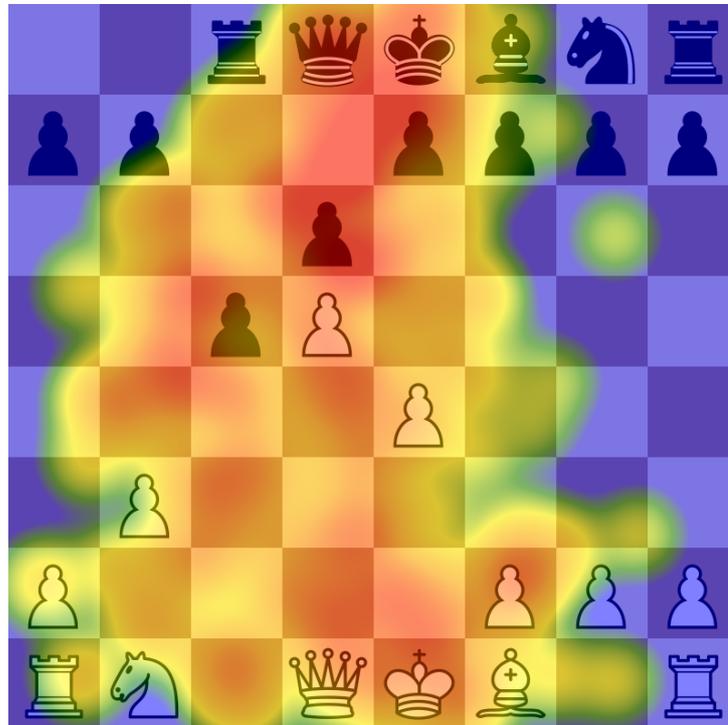
Fonte: Autor

Legenda: A DAMA PRETA pode dar MATE em UMA jogada? (NÃO)

Figura 40 – Mapas de atenção visual para a questão 32 da categoria 4.



(a) Grupo mais proficiente.

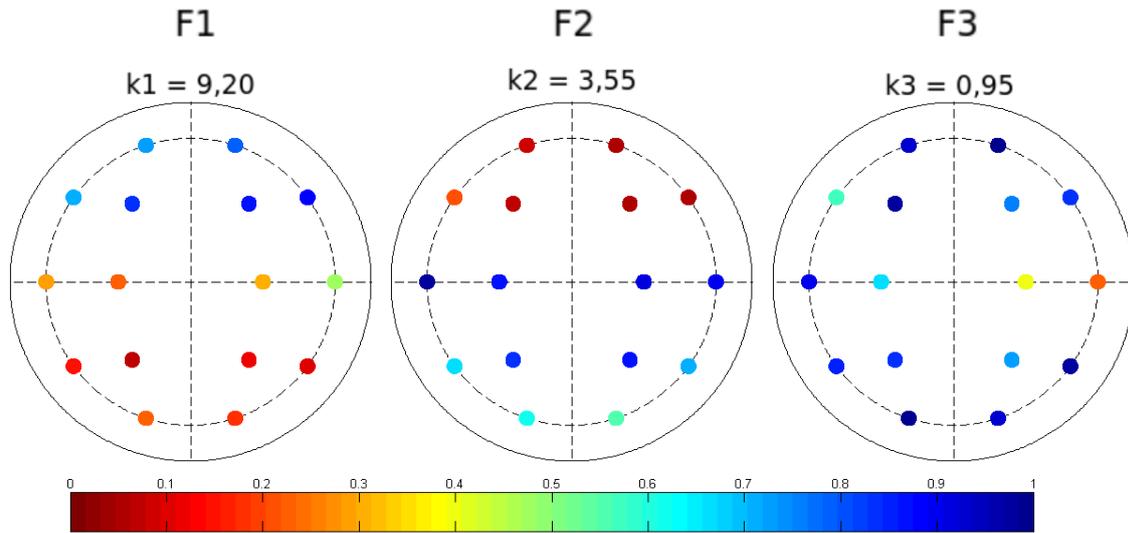


(b) Grupo menos proficiente.

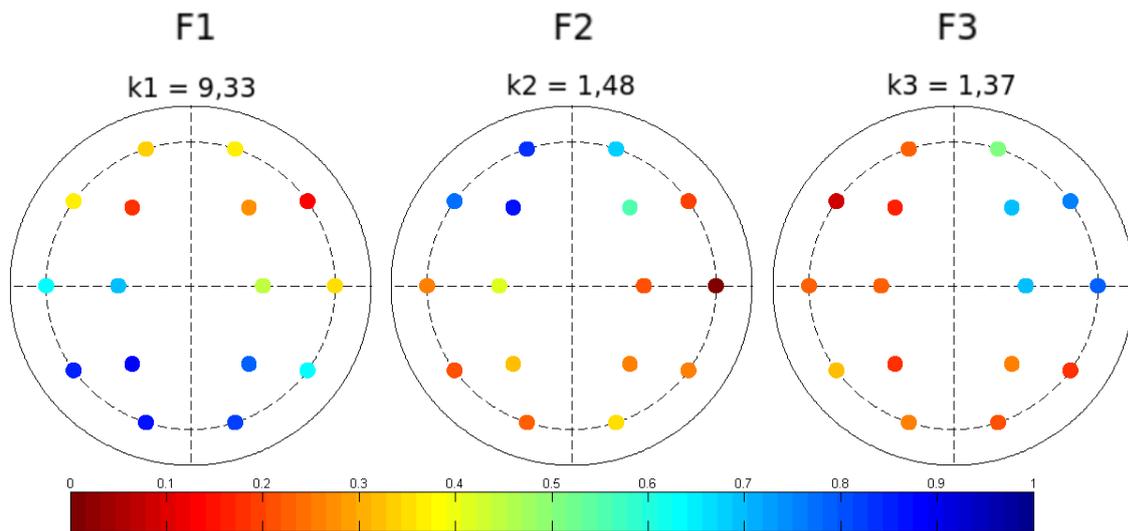
Fonte: Autor

Legenda: As BRANCAS podem dar MATE em UMA jogada? (NÃO)

Figura 41 – Mapas de sinais cerebrais para a categoria 4.



(a) Grupo mais proficiente.



(b) Grupo menos proficiente.

Fonte: Autor

da área temporal, em que no momento anterior a tomada de decisão pode estar relacionado a interpretação da pergunta em relação ao diagrama apresentado (VANLIERDE et al., 2003; BASTIAANSEN et al., 2002). Para esse grupo de voluntários, o fator F3 teve o auto-valor menor do que 1, podendo significar que somente os dois primeiros fatores são suficientes para descrever a atividade neural para solucionar os problemas apresentados nessa categoria.

Os mapas de sinais cerebrais do grupo de menor proficiência apresentado na Figura 41b mostram que o fator F1 apresenta um conjunto de agentes nas regiões occipito-parietal envolvendo os eletrodos O1, O2, P3 e P4 e o eletrodo T5 da área temporal do hemisfério esquerdo, essas ligações estão relacionadas a percepção visual e espacial (VANLIERDE et al., 2003). A região do lobo frontal do hemisfério esquerdo apresentou forte ligação no fator F2. Essa região

é responsável pela adaptação de situações habituais para situações incomuns (PERRET, 1974). O fator F3 do grupo menos proficiente apresenta os eletrodos F4, F8, C4 e T4, nesse caso C4 e F4 possuem fatores de carga próximos à 0,7, formando um circuito fronto-temporal direito que pode estar envolvido com o planejamento visual dos possíveis movimentos das situações apresentadas.

Comparando-se os mapas de sinais cerebrais da Figura 41 verifica-se que para essa categoria o grupo de maior proficiência teve forte ligação na região frontal e ligações fracas na região occipital, ao contrário do grupo de menor proficiência, o que pode explicar o melhor desempenho do grupo mais proficiente, já que para as questões apresentadas nessa categoria é necessário planejamento e raciocínio lógico para chegar a solução. Esses resultados são condizentes em relação a experimentos anteriores (F. ROCHA et al., 2016; WRIGHT et al., 2013).

5.2.5 Categoria 5: Conhecimento de jogadas e possibilidade de captura de peças

A categoria 5 baseia-se no experimento realizado por Nichelli et al. (1994) em que o voluntário analisa um único movimento de uma única peça e responde se esse movimento é possível de ser realizado ou não. A Figura 42 mostra o desempenho de ambos os grupos com relação à quantidade de acertos e tempo médio de resposta.

De acordo com a Figura 42a verifica-se que para a categoria 5, a quantidade de acertos por questão variou para os dois grupos e que em sua maioria o grupo mais proficiente teve melhor desempenho. Dentre as questões apresentadas, destacam-se as questões 4, 7, 31 e 48 pela diferença de acertos entre os grupos. Com relação ao tempo médio de resposta observado na Figura 42b, observa-se que o grupo mais proficiente demandou menos tempo para responder a maioria das questões, sendo que as exceções são as questões 26 e 41.

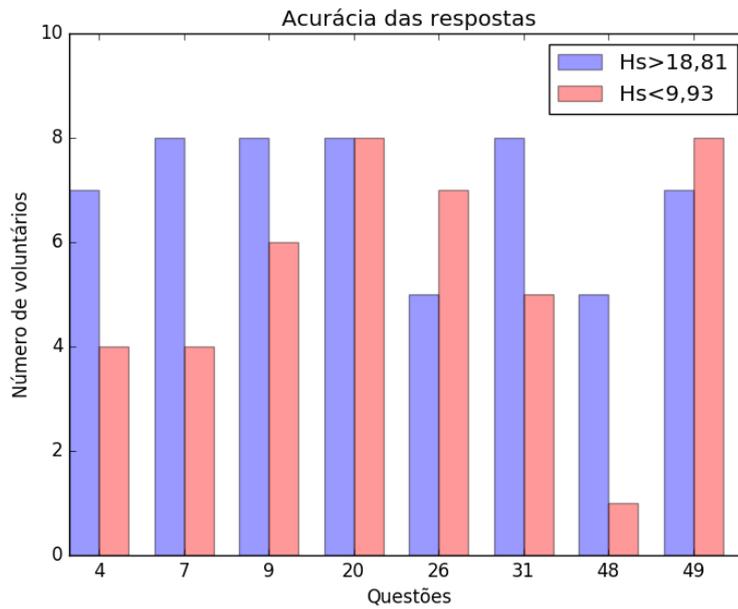
5.2.5.1 Mapas de Atenção Visual

Baseado nas informações fornecidas na Figura 42, são gerados mapas de atenção visual para as questões 31 e 48. Para a questão 31 ($p = 0.0017$), o grupo mais proficiente teve três acertos a mais que o outro grupo. Para a questão 48 ($p = 0.0213$), o grupo menos proficiente acertou quatro questões a menos que o outro grupo. As Figuras 43 e 44 exibem os mapas de atenção visual para as questões 31 e 48, respectivamente.

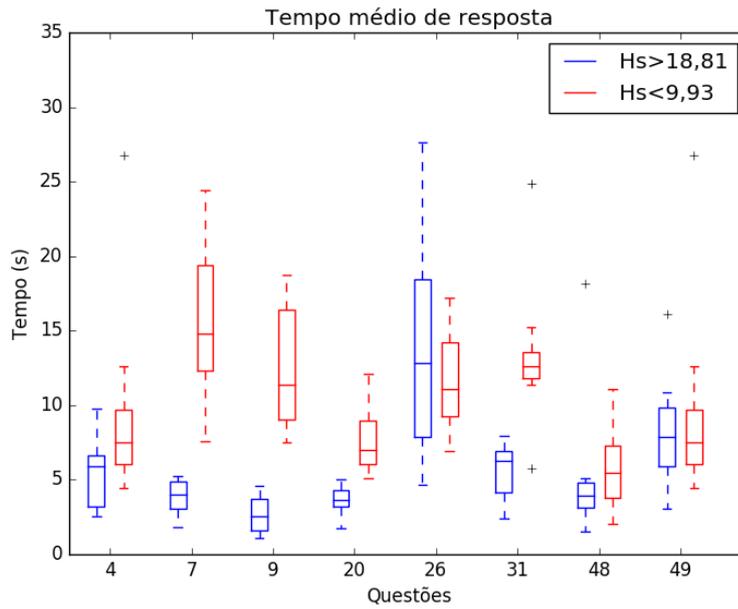
Analisando-se os mapas de atenção visual das Figuras 43a e 43b para os grupos de maior e menor proficiência, respectivamente, observa-se que o grupo menos proficiente olhou para quase todo o diagrama apresentado enquanto que o grupo mais proficiente focou sua atenção em regiões específicas do diagrama.

Comparando-se as fixações dos olhares do grupo mais proficiente da Figura 44a e do grupo menos proficiente da Figura 44b, nota-se que ambos os grupos fixaram seus olhares na parte inferior esquerda do diagrama, mas apesar desta semelhança, o grupo menos proficiente

Figura 42 – Categoria 5.



(a) Acurácia das respostas.

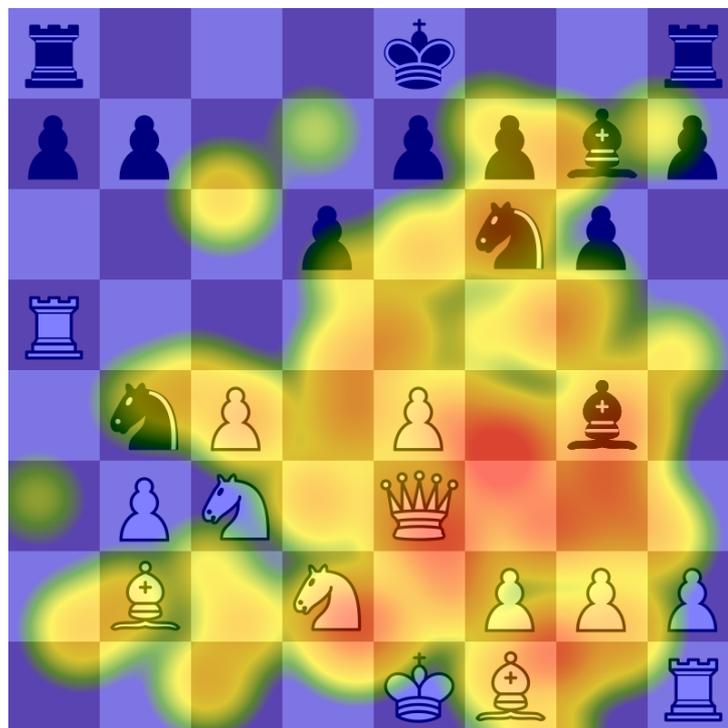


(b) Tempo médio de resposta.

Fonte: Autor

teve maior tempo médio de resposta e apenas um voluntário desse grupo respondeu assertivamente a questão 48.

Figura 43 – Mapas de atenção visual para a questão 31 da categoria 5.



(a) Grupo mais proficiente.

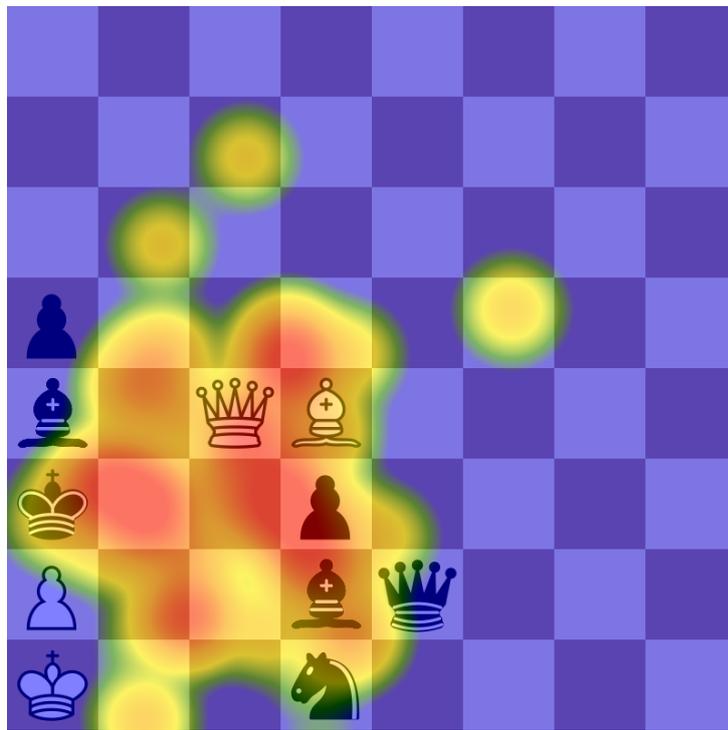


(b) Grupo menos proficiente.

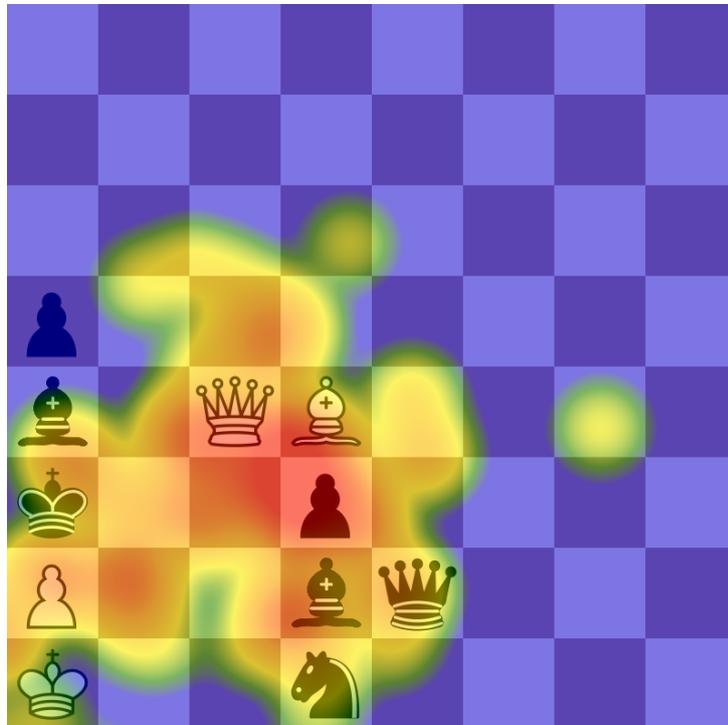
Fonte: Autor

Legenda: É possível CAPTURAR um PEÃO BRANCO com a peça em G4? (NÃO)

Figura 44 – Mapas de atenção visual para a questão 48 da categoria 5.



(a) Grupo mais proficiente.



(b) Grupo menos proficiente.

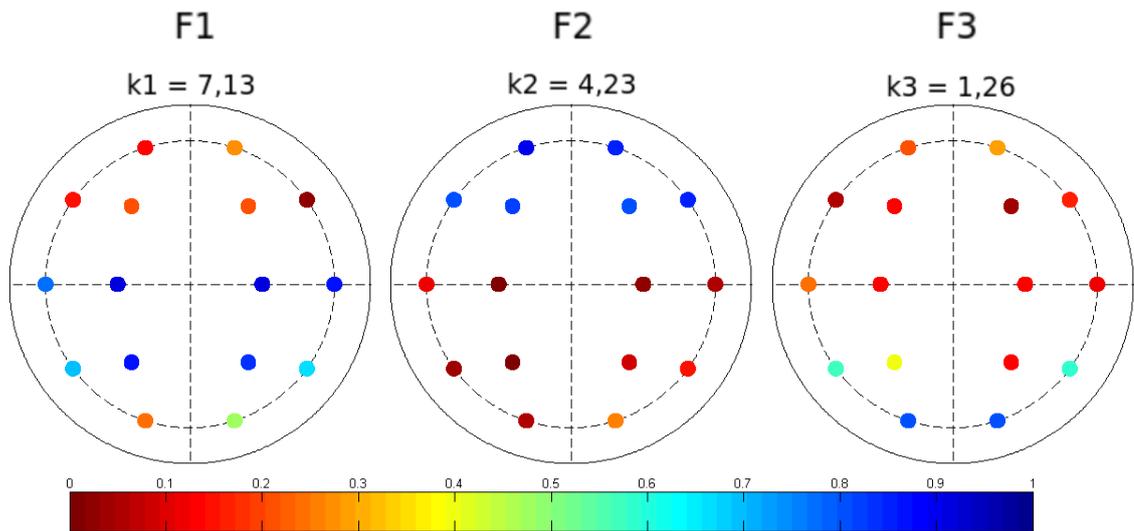
Fonte: Autor

Legenda: O PEÃO PRETO consegue CAPTURAR a DAMA BRANCA?
(NÃO)

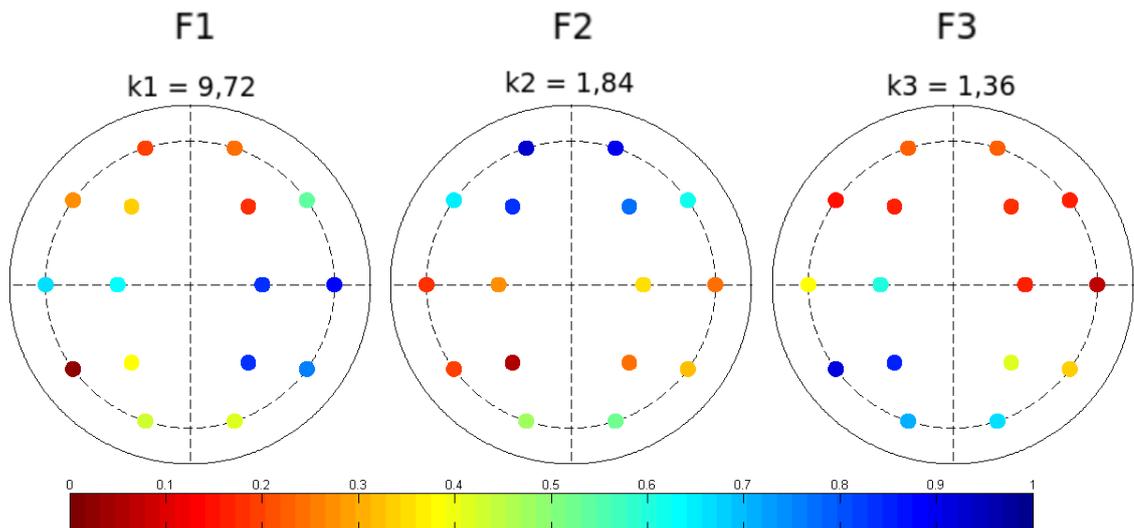
5.2.5.2 Mapas de Sinais Cerebrais

Para essa mesma categoria, foram gerados mapas de sinais cerebrais para os grupos mais proficientes e menos proficientes, representados na Figura 45.

Figura 45 – Mapas de sinais cerebrais para a categoria 5.



(a) Grupo mais proficiente.



(b) Grupo menos proficiente.

Fonte: Autor

De acordo com o mapa de sinais cerebrais do grupo mais proficiente da Figura 45a, o fator F1 mostra uma associação entre os eletrodos C3, C4, P3 e P4, que representam as áreas parieto-centrais envolvidas com o processamento visuo-espacial, além dos eletrodos T3 e T4 da área temporal, em que no momento anterior a tomada de decisão pode estar relacionado a interpretação da pergunta em relação ao diagrama apresentado (VANLIERDE et al., 2003; BASTIAANSEN et al., 2002). O fator F2 mostra uma associação entre os eletrodos Fp1, Fp2, F3,

F4, F7 e F8 que representam a área do lobo frontal, área relacionada ao planejamento e memória (MARTIN, 2014; GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009). O terceiro fator F3 apresenta ligação área occipital (eletrodos O1 e O2), área que se relaciona com a percepção de estímulos visuais (MARTIN, 2014; MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH, 2009; DE OLIVEIRA, 2001).

As ativações cerebrais do grupo com menor proficiência mostradas na Figura 45b revelam que o primeiro fator F1 teve forte ligação no hemisfério direito entre os eletrodos C4, P4, T4 e T6, região associada ao processamento visuo-espacial (VANLIERDE et al., 2003). O segundo fator F2 apresenta forte ligação entre os eletrodos F3, F4, Fp1 e Fp2 do lobo frontal, área relacionada ao planejamento e memória (MARTIN, 2014; GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009). O fator F3 apresenta ligação entre os eletrodos P3, T5, O1 e O2, região envolvida com o processamento básico dos objetos (MARTIN, 2014; MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH, 2009; DE OLIVEIRA, 2001).

De acordo com a Figura 45, observa-se que para o fator F1, o grupo mais proficiente teve maior ativação cerebral em regiões relacionadas a solução do problema enquanto que o grupo menos proficiente teve maior ativação cerebral em áreas relacionadas a entendimento da questão, o que pode mostrar que para essa categoria os voluntários menos experientes tiveram dificuldades de compreender e solucionar as questões apresentadas. Assim como ocorreu nas categorias 1, 2 e 3, o fator F2 apresenta ligações mais fortes na área do lobo frontal do cérebro, em que essa área pode estar relacionada ao raciocínio lógico e planejamento para encontrar a solução do problema.

6 CONCLUSÃO

Para a realização dos experimentos foram utilizadas técnicas computacionais de aquisição e processamento de sinais eletroencefalográficos e de movimentos oculares em jogadas de xadrez, sincronizando os dispositivos de aquisição de dados, utilizando técnicas para pré-processamento e processamento dos sinais adquiridos, e gerando como resultado final mapas cognitivos que mostram áreas cerebrais mais ativadas para solução dos estímulos apresentados bem como mapas de atenção visual exibindo regiões de maior e menor foco dos voluntários.

De maneira geral os resultados dos experimentos mostraram diferenças significativas nos padrões de ativação cerebral e movimento ocular entre jogadores com maior e menor proficiência. Jogadores com maior proficiência normalmente concentraram sua atenção em partes relevantes das cenas para a solução de das jogadas, bem como tiveram ativações cerebrais em áreas relacionadas ao gerenciamento de tomada de decisão e planejamento. Os jogadores menos proficientes levaram mais tempo para responder as questões apresentadas, o que pode ser reflexo da fixação dos olhares em um espaço maior, adquirindo-se mais informações a respeito dos diagramas e processando-se mais dados, fazendo com que, em sua maioria, esse grupo apresentasse ligações em áreas do cérebro relacionadas ao processamento primário da visão.

Mais especificamente, na categoria 1 (reconhecimento de peças e posicionamento), verifica-se que o grupo menos proficiente demandou mais tempo para solucionar as questões apresentadas e sua atenção visual foi dispersa, abrangendo regiões dos diagramas que não possuíam informações relevantes para solução da tarefa. Os mapas de sinais cerebrais revelam uma ativação neural em áreas semelhantes, algo que era esperado, já que para essa categoria o processamento cerebral é principalmente voltado ao processamento da visão. Esses resultados são semelhantes aos de Krawczyk et al. (2011) e Bilalić et al. (2010) para essa categoria.

Para a categoria 2 (reconhecimento de situações de xeque), observa-se um desempenho superior do grupo mais proficiente tanto na acurácia quanto no tempo para solucionar os problemas. Os mapas de atenção visual exibem áreas semelhantes para o foco de atenção para ambos os grupos e mapas de sinais cerebrais mostram diferenças no primeiro fator e segundo fator com ativações neurais parecidas na região frontal. Bilalić et al. (2011a) encontraram ativações neurais em regiões similares as encontradas nessa categoria.

A categoria 3 (reconhecimento de situações de xeque-mate), apresenta resultados semelhantes aos encontrados na categoria 2, situação prevista devido à similaridade entre elas. Os mapas de atenção visual mostram áreas equivalentes de fixação de olhares entre os grupos, assim como as ativações neurais nas mesmas áreas do lobo occipital e lobo frontal. Bilalić et al. (2011a) verificaram situações semelhantes em relação aos mapas de atenção visual dessa categoria.

Os resultados encontrados na categoria 4 (possibilidade de xeque-mate em um lance), são os que melhor caracterizam a diferença dos padrões cognitivos entre os dois grupos. Nos

mapas de sinais cerebrais é possível verificar que o grupo menos proficiente exhibe conjuntos de agentes na área relacionada ao processamento da visão e na região responsável pela adaptação de situações habituais para situações incomuns, evidenciando que os voluntários desse grupo tiveram dificuldades para solucionar o problema apresentado, enquanto que o grupo mais proficiente apresenta ativações nas áreas relacionadas ao planejamento, raciocínio lógico e processamento da visão. Os mapas de atenção visual mostram diferenças dependendo da dificuldade apresentada, em que o grupo menos experiente abrange uma área maior do diagrama apresentado para encontrar a solução. Os resultados desta categoria são condizentes com os descritos por F. Rocha et al. (2016).

Curiosamente, embora essa seja a categoria considerada como a mais difícil dentre todas as apresentadas, não foi possível perceber diferenças significativas em relação ao tempo médio de resposta e, considerando que os voluntários receberam instruções verbalizadas de que o tempo de resposta era um parâmetro importante para os experimentos, é possível que o grupo menos proficiente tenha respondido a várias perguntas de maneira aleatória devido a dificuldade objetivando alcançar um melhor desempenho.

Na categoria 5 (conhecimento de jogadas e possibilidade de captura de peças), observa-se que a dispersão das fixações dos olhares é diferente entre os grupos e depende da dificuldade da questão apresentada, assim como visto na categoria 4. Em relação às ativações cerebrais, verifica-se a semelhança no segundo fator no lobo frontal, já o primeiro fator para o grupo menos experiente mostra forte ligação entre conjuntos de agentes na área associada a compreensão da linguagem, o que pode mostrar a dificuldade desse grupo para entender as questões apresentadas. Os trabalhos de Duan et al. (2014) e Charness et al. (2001) apresentam resultados similares aos encontrados para a categoria 5.

A partir deste trabalho, são vislumbradas as seguintes possibilidades como trabalhos futuros:

- a) prever o nível de proficiência em xadrez utilizando como base os resultados obtidos neste trabalho, destacando-se a categoria 4 pelas diferenças encontradas entre os grupos;
- b) expandir o campo de aplicação para outras áreas com o propósito de compreender o processo cognitivo humano;
- c) investigar a diferença da ativação cerebral em enxadristas com deficiência visual e enxadristas sem deficiência visual, visto que a área de processamento visual é muito utilizada para a solução de problemas em xadrez;
- d) investigar a dilatação da pupila em questões que são consideradas difíceis, já que estudos mostram que a dilatação da pupila for grande, isso significa que o cérebro não está mais processando informações para a tarefa em análise.

REFERÊNCIAS

- AMARO JÚNIOR, Edson; YAMASHITA, Helio. Aspectos básicos de tomografia computadorizada e ressonância magnética. **Revista Brasileira de Psiquiatria**, SciELO Brasil, v. 23, p. 2–3, 2001.
- AMIDZIC, Ognjen et al. Pattern of focal γ -bursts in chess players. **Nature**, Nature Publishing Group, v. 412, n. 6847, p. 603–603, 2001.
- ATHERTON, Michael et al. A functional MRI study of high-level cognition. I. The game of chess. **Cognitive Brain Research**, Elsevier, v. 16, n. 1, p. 26–31, 2003.
- ATLAS, Scott W. **Magnetic resonance imaging of the brain and spine**. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2009. v. 1.
- BASTIAANSEN, Marcel CM et al. Event-related alpha and theta responses in a visuo-spatial working memory task. **Clinical neurophysiology**, Elsevier, v. 113, n. 12, p. 1882–1893, 2002.
- BILALIĆ, Merim et al. It takes two-skilled recognition of objects engages lateral areas in both hemispheres. **PLoS One**, Public Library of Science, v. 6, n. 1, e16202, 2011.
- BILALIĆ, Merim et al. Many faces of expertise: fusiform face area in chess experts and novices. **The Journal of Neuroscience**, Soc Neuroscience, v. 31, n. 28, p. 10206–10214, 2011.
- BILALIĆ, Merim et al. Mechanisms and neural basis of object and pattern recognition: a study with chess experts. **Journal of Experimental Psychology: General**, American Psychological Association, v. 139, n. 4, p. 728, 2010.
- BLIGNAUT, Pieter J; BEELDERS, Tanya René; SO, CY. The visual span of chess players. In: **EYE TRACKING RESEARCH & APPLICATIONS**, 28., 2008, Savannah. **Proceedings of the...** New York: ACM, 2008.
- BUSSAB, Wilton de O; MORETTIN, Pedro A. **Estatística básica**. 5 ed. São Palo: Saraiva, 2010.
- CALDERWOOD, Roberta; KLEIN, Gary A; CRANDALL, Beth W. Time pressure, skill, and move quality in chess. **The American journal of psychology**, JSTOR, p. 481–493, 1988.
- CAMPITELLI, Guillermo; GOBET, Fernand; PARKER, Amanda. Structure and stimulus familiarity: a study of memory in chess-players with functional magnetic resonance imaging. **The Spanish journal of psychology**, Cambridge Univ Press, v. 8, n. 02, p. 238–245, 2005.
- CAMPITELLI, Guillermo et al. Brain localization of memory chunks in chessplayers. **International Journal of Neuroscience**, Taylor & Francis, v. 117, n. 12, p. 1641–1659, 2007.

CESAR, Fábio Henrique Gonçalves. **Aquisição e processamento de sinais de rastreamento ocular em jogadas de xadrez**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, 2016.

CESAR, Fábio Henrique Gonçalves; ROCHA, Fabio Theoto.; THOMAZ, Carlos Eduardo. CHESSLAB: Um arcabouço computacional para aquisição e processamento de sinais de rastreamento ocular em jogadas de xadrez. In: SIBGRAPI CONFERENCE ON GRAPHICS, PATTERNS AND IMAGES, 28., 2015, Salvador. **Proceedings of the...** New York: IEEE, 2015.

CHABRIS, Christopher F; HAMILTON, Sania E. Hemispheric specialization for skilled perceptual organization by chessmasters. **Neuropsychologia**, Elsevier, v. 30, n. 1, p. 47–57, 1992.

CHARNESS, Neil et al. The perceptual aspect of skilled performance in chess: Evidence from eye movements. **Memory & cognition**, Springer, v. 29, n. 8, p. 1146–1152, 2001.

CHENNAMMA, HR; YUAN, Xiaohui. A survey on eye-gaze tracking techniques. **Indian Journal of Computer Science and Engineering**, Indian Society for Education e Environment, v. 4, n. 5, p. 388–393, 2013.

COLLEWIJN, H; VAN DER MARK, F; JANSEN, TC. Precise recording of human eye movements. **Vision research**, Pergamon, v. 15, n. 3, 447–in5, 1975.

COSTA, Durval C; OLIVEIRA, José Manuel AP; BRESSAN, Rodrigo A. PET e SPECT em neurologia e psiquiatria: do básico às aplicações clínicas. **Revista Brasileira de Psiquiatria**, SciELO Brasil, v. 23, p. 4–5, 2001.

DAVIS, Morton D et al. **Teoria dos jogos: uma introdução não-técnica**. São Paulo: Cultrix, 1973.

DE OLIVEIRA, MARIA APARECIDA DOMINGUES. **Neurofisiologia Do Comportamento**. Rio Grande do Sul: ULBRA, 2001.

DODGE, Raymond; CLINE, Thomas Sparks. The angle velocity of eye movements. **Psychological Review**, The Macmillan Company, v. 8, n. 2, p. 145, 1901.

DUAN, Xujun et al. Functional organization of intrinsic connectivity networks in Chinese-chess experts. **Brain research**, Elsevier, v. 1558, p. 33–43, 2014.

DUAN, Xujun et al. Large-scale brain networks in board game experts: insights from a domain-related task and task-free resting state. **PloS one**, Public Library of Science, v. 7, n. 3, e32532, 2012b.

DUAN, Xujun et al. Reduced caudate volume and enhanced striatal-DMN integration in chess experts. **Neuroimage**, Elsevier, v. 60, n. 2, p. 1280–1286, 2012a.

DUCHOWSKI, Andrew. **Eye tracking methodology: Theory and practice**. New York: Springer Science & Business Media, 2007. v. 373.

DUCHOWSKI, Andrew T. A breadth-first survey of eye-tracking applications. **Behavior Research Methods, Instruments, & Computers**, Springer, v. 34, n. 4, p. 455–470, 2002.

EGGERT, Thomas. Eye movement recordings: methods. **Neuro-Ophthalmology**, Karger, v. 40, n. 1, p. 15–34, 2007.

ELO, Arpad E. **The rating of chessplayers, past and present**. [S.l.]: Arco Pub., 1978.

FONTES, Sissy Veloso; FUKUJIMA, Marcia Maiumi; CARDEAL, José Osmar. **Fisioterapia neurofuncional: fundamentos para a prática**. São Paulo: Atheneu, 2007.

GANANÇA, Maurício Malavasi; CAOVILO, Heloísa Helena;

GANANÇA, Fernando Freitas. Electronystagmography versus videonystagmography.

Brazilian journal of otorhinolaryngology, SciELO Brasil, v. 76, n. 3, p. 399–403, 2010.

GAUR, Rohit P; JARIWALA, Krupa N. A survey on methods and models of eye tracking, head pose and gaze estimation. **Journal of Emerging Technologies and Innovative Research**, JETIR, v. 1, n. 5, p. 265–273, 2014.

GAZZANIGA, M.S.; IVRY, R.B.; MANGUN, G.R. **Cognitive Neuroscience: The Biology of the Mind**. New York: Norton, 2009.

GOBET, Fernand. Expert memory: A comparison of four theories. **Cognition**, Elsevier, v. 66, n. 2, p. 115–152, 1998.

GOBET, Fernand; RETSCHITZKI, Jean; VOOGT, Alex de. **Moves in mind: The psychology of board games**. United Kingdom: Psychology, 2004.

GONZALEZ, Rafael C.; WOODS, Richard E. **Digital image processing**. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 2008.

GUYTON, Arthur Clifton; HALL, John E; GUYTON, Arthur C. **Tratado de fisiologia médica**. 12 ed. São Paulo: Elsevier Brasil, 2006.

HÄNGGI, Jürgen et al. The architecture of the chess player s brain. **Neuropsychologia**, Elsevier, v. 62, p. 152–162, 2014.

HANSEN, Peter; KRINGELBACH, Morten; SALMELIN, Riitta. **MEG: an introduction to methods**. Oxford: Oxford university, 2010.

HENNEMANN, Ana Lucia. **Neurociências em benefício da educação!: Você consegue guardar segredos?** Disponível em: <<https://goo.gl/TFqARi>>. Acesso em: 01 fev. 2017. 2012.

HOLMQVIST, Kenneth et al. **Eye tracking: a comprehensive guide to methods and measures**. Oxford: OUP Oxford, 2011.

HOUBEN, Mark MJ; GOUMANS, Janine; STEEN, Johannes van der. Recording three-dimensional eye movements: scleral search coils versus video oculography. **Investigative Ophthalmology & Visual Science**, The Association for Research in Vision e Ophthalmology, v. 47, n. 1, p. 179–187, 2006.

HUEY, Edmund B. Preliminary experiments in the physiology and psychology of reading. **The American Journal of Psychology**, JSTOR, v. 9, n. 4, p. 575–586, 1898.

HYÖTYNIEMI, Heikki; SAARILUOMA, Pertti. Chess-beyond the rules. **Finnish Artificial Intelligence Society**, Citeseer, p. 100–112, 1999.

JASPER, Herbert Henri. The ten twenty electrode system of the international federation. **Electroencephalography and clinical neurophysiology**, v. 10, p. 371–375, 1958.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2007. (Applied Multivariate Statistical Analysis).

KANDEL, E. et al. **Princípios de neurociências**. 5 ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

KAY, Jerald; TASMAN, Allan; LIEBERMAN, Jeffrey A. **Psiquiatria**. São Paulo: Manole, 2002.

KAZEMI, Farhad; YEKTAYAR, Mozafar; ABAD, Ali Mohammadi Bolban. Investigation the impact of chess play on developing meta-cognitive ability and math problem-solving power of students at different levels of education. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, Elsevier, v. 32, p. 372–379, 2012.

KRAWCZYK, Daniel C et al. The neural organization of perception in chess experts. **Neuroscience letters**, Elsevier, v. 499, n. 2, p. 64–69, 2011.

KRISTENSEN, Christian Haag; ALMEIDA, Rosa Maria M; GOMES, William Barbosa. Desenvolvimento histórico e fundamentos metodológicos da neuropsicologia cognitiva. **Psicologia: Reflexão e Crítica**, SciELO Brasil, v. 14, n. 2, p. 259–274, 2001.

MACHADO, Angelo Barbosa Monteiro; CAMPOS, Gilberto Belisario. **Neuroanatomia funcional**. 2 ed. Belo Horizonte: Atheneu Belo Horizonte, 2005.

MARTIN, J.H. **Neuroanatomia: Texto e Atlas**. 4 ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

MARTINI, F.H.; TIMMONS, M.J.; TALLITSCH, R.B. **Anatomia Humana**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. (Coleção Martini).

NICHELLI, Paolo et al. Brain activity in chess playing. **Nature**, Nature Publishing Group, v. 369, n. 1, p. 191, 1994.

ONOFRJ, M et al. Non-dominant dorsal-prefrontal activation during chess problem solution evidenced by single photon emission computerized tomography (SPECT). **Neuroscience letters**, Elsevier, v. 198, n. 3, p. 169–172, 1995.

OPENBCI - Open Source Biosense Tools (EEG, EMG, EKGn and more). 2013. Disponível em: <<http://www.openbci.com/>>. Acesso em: 01 fev. 2017. OpenBCI.

PERRET, E. The left frontal lobe of man and the suppression of habitual responses in verbal categorical behaviour. **Neuropsychologia**, Elsevier, v. 12, n. 3, p. 323–330, 1974.

PICTON, TW et al. Guidelines for using human event-related potentials to study cognition: recording standards and publication criteria. **Psychophysiology**, Cambridge, v. 37, n. 02, p. 127–152, 2000.

PORTERFIELD, William. **A treatise on the eye, the manner and phaenomena of vision. In two volumes**. [S.l.]: G. Hamilton e J. Balfour, 1759.

PRO, Tobii. **Tobii Pro - Envision human behavior. 2014**. Disponível em: <<http://www.tobii.com/>>. Acesso em: 01 fev. 2017. Tobii Pro.

PURVES, D. **Neuroscience**. Connecticut: Sinauer Associates Incorporated, 2004.

REINGOLD, Eyal M; SHERIDAN, Heather. Eye movements and visual expertise in chess and medicine. **Oxford handbook on eye movements**, Oxford University Press Oxford, UK, v. 29, n. 1, p. 528–550, 2011.

REINGOLD, Eyal M et al. Visual span in expert chess players: Evidence from eye movements. **Psychological Science**, SAGE, v. 12, n. 1, p. 48–55, 2001.

REMMEL, Ronald S. An inexpensive eye movement monitor using the scleral search coil technique. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, IEEE, n. 4, p. 388–390, 1984.

ROBINSON, David A. A method of measuring eye movement using a scleral search coil in a magnetic field. **IEEE Transactions on bio-medical electronics**, IEEE, v. 10, n. 4, p. 137–145, 1963.

ROCHA, Fabio et al. Brain mapping and interpretation of reading processing in children using EEG and multivariate statistical analysis. In: SIBGRAPI CONFERENCE ON GRAPHICS, PATTERNS AND IMAGES, 27., 2014, Rio de Janeiro. **Proceedings of the...** New York: IEEE, 2015.

ROCHA, Fabio et al. Brain mappings of the arithmetic processing in children and adults. **Cognitive Brain Research**, Elsevier, v. 22, n. 3, p. 359–372, 2005.

ROCHA, Fabio et al. EEG acquisition and processing for cognitive brain mapping during chess problem solving. **IEEE Latin America Transactions**, IEEE, v. 14, n. 3, p. 1129–1134, 2016.

ROSS, Philip E. The expert mind. **Scientific American**, Nature Publishing Group, v. 295, n. 2, p. 64–71, 2006.

SAARILUOMA, Pertti. **Chess players' thinking: a cognitive psychological approach**. United Kingdom: Psychology, 1995.

SALVUCCI, Dario D; GOLDBERG, Joseph H. Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols. In: 20., 2000, Palm Beach Gardens. **PROCEEDINGS of the...** New York: ACM, 2000.

SANEI, Saeid; CHAMBERS, Jonathon A. **EEG signal processing**. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2013.

SHANNON, Claude E. Communication theory of secrecy systems. **Bell system technical journal**, Wiley Online Library, v. 28, n. 4, p. 656–715, 1949.

SHERIDAN, Heather; REINGOLD, Eyal M. Expert vs. novice differences in the detection of relevant information during a chess game: evidence from eye movements. **Psychological perspectives on expertise**, Frontiers Media, p. 11, 2015.

TEPLAN, Michal. Fundamentals of EEG measurement. **Measurement science review**, v. 2, n. 2, p. 1–11, 2002.

VAN DER GEEST, JN; FRENS, MA. Recording eye movements with video-oculography and scleral search coils: a direct comparison of two methods. **Journal of neuroscience methods**, Elsevier, v. 114, n. 2, p. 185–195, 2002.

VANLIERDE, Annick et al. Occipito-parietal cortex activation during visuo-spatial imagery in early blind humans. **Neuroimage**, Elsevier, v. 19, n. 3, p. 698–709, 2003.

VIGNEAU, Mathieu et al. Meta-analyzing left hemisphere language areas: phonology, semantics, and sentence processing. **Neuroimage**, Elsevier, v. 30, n. 4, p. 1414–1432, 2006.

VOLKE, H-J et al. On-coupling and off-coupling of neocortical areas in chess experts and novices as revealed by evoked EEG coherence measures and factor-based topological analysis—a pilot study. **Journal of Psychophysiology**, Hogrefe & Huber, v. 16, n. 1, p. 23, 2002.

WADE, Nicholas; TATLER, Benjamin W. **The moving tablet of the eye: the origins of modern eye movement research**. Oxford: Oxford University, 2005.

WERNICK, Miles N; AARSVOLD, John N. **Emission tomography: the fundamentals of PET and SPECT**. Massachusetts: Academic, 2004.

WRIGHT, Michael J et al. ERP to chess stimuli reveal expert-novice differences in the amplitudes of N2 and P3 components. **Psychophysiology**, Wiley Online Library, v. 50, n. 10, p. 1023–1033, 2013.

WUKOVITS, J.F. **Vince Lombardi**. New York: Chelsea House, 1997.

XEQUE & Mate - CAMPEORNATO PAULISTA DE XADREZ ESCOLAR. 2011. Disponível em: <<https://goo.gl/ARqrKn>>. Acesso em: 01 fev. 2017. Xeque & Mate.

APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO

LABORATÓRIO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI

Pesquisador Responsável: Carlos Eduardo Thomaz

Endereço: Avenida Humberto de Alencar Castelo Branco, 3972, Sala K5-01

CEP: 09.850-901 – São Bernardo do Campo – SP

Fone: (11) 4353-2910 ramal: 2183 - E-mail: cet@fei.edu.br

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Projeto de pesquisa: “Mapeamento cerebral e análise de movimentos oculares em jogadores de xadrez”. O objetivo do presente projeto é estudar a relação entre o raciocínio envolvido no jogo de xadrez com a funcionalidade neural evidenciada pelo mapeamento cerebral através do registro eletroencefalográfico e do movimento ocular através do mapa de atenção visual.

Você está sendo convidado(a) a participar do projeto de pesquisa acima citado. Para este estudo, você responderá, no computador, a uma série de perguntas sobre situações problemas em xadrez, enquanto o seu eletroencefalograma e movimento ocular são registrados.

O eletroencefalograma e o rastreamento do movimento ocular são exames não invasivos e que não apresentam risco para o indivíduo. É colocada uma touca com eletrodos distribuídos em várias regiões da cabeça e aplicado um gel antialérgico a base de água. Após o exame é retirado o excesso do gel e o restante sai facilmente assim que se lavar o cabelo.

Nesta pesquisa a aquisição de dados não tem objetivo diagnóstico. Seu nome ou o material que indique a sua pessoal participação não serão liberados a terceiros. O(A) Sr(a). não será identificado(a) em nenhuma publicação que possa resultar deste estudo. Para participar deste estudo você não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Você será instruído(a) sobre o estudo em qualquer aspecto que desejar e estará livre para participar ou recusar-se a participar. Poderá retirar seu consentimento ou interromper a participação a qualquer momento.

Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias, sendo que uma cópia será arquivada pelo pesquisador responsável, no Laboratório de Processamento de Imagens do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Universitário da FEI em São Bernardo do Campo, e a outra será fornecida a você.

Eu, _____, portador do documento de Identidade _____, concordo de livre e espontânea vontade em participar como voluntário(a) do projeto supra-citado. Declaro que fui informado(a) dos objetivos do estudo de maneira clara e detalhada e esclareci minhas dúvidas. Recebi uma cópia deste termo de consentimento livre e esclarecido e me foi dada a oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas.

São Bernardo do Campo, _____ de _____ de _____.

Assinatura participante

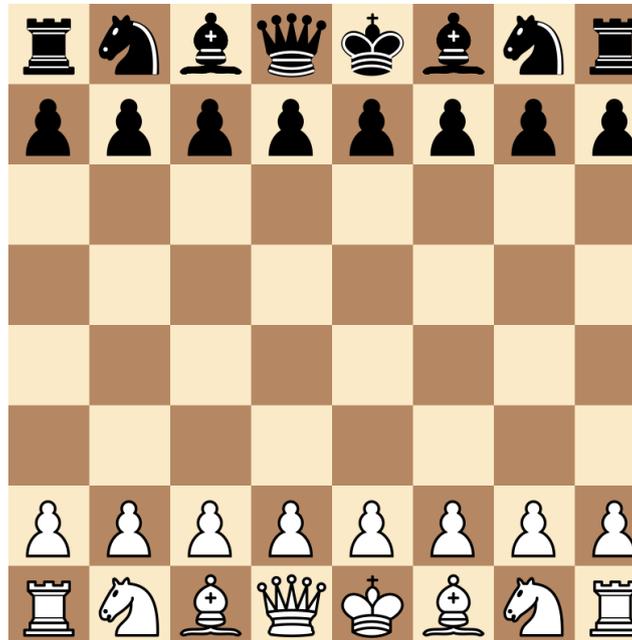
Assinatura pesquisador

ANEXO A – QUESTÕES DO TESTE DE PROFICIÊNCIA

Questão -: O tabuleiro encontra-se na POSIÇÃO INICIAL. Você consegue identificar todas as peças?

Categoria: -

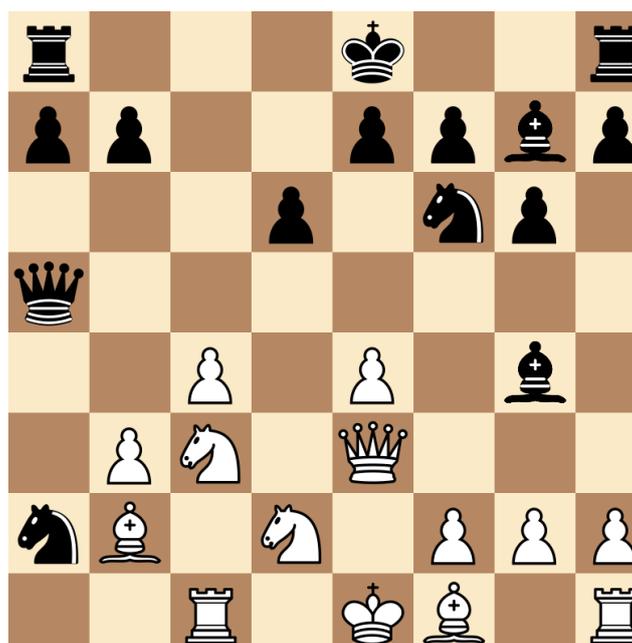
Resposta: Sim



Questão 1: AMBOS os jogadores possuem a MESMA QUANTIDADE de PEÕES?

Categoria 1: Reconhecimento de peças e posicionamento (Volke)

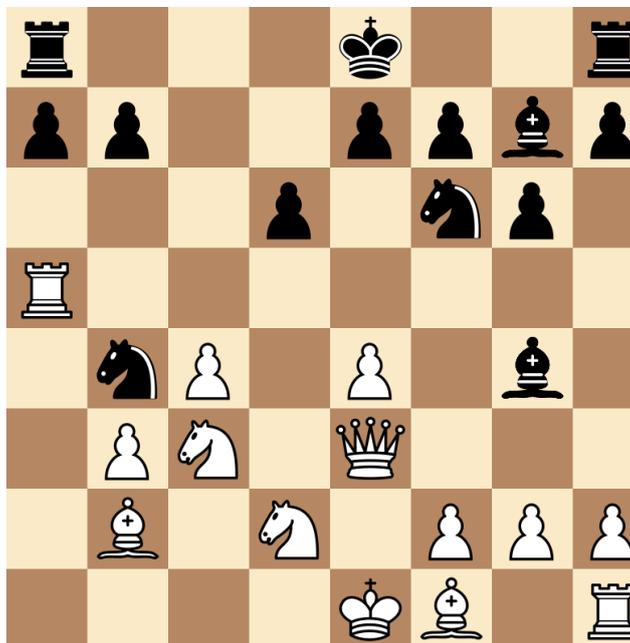
Resposta: Não



Questão 2: As PRETAS podem dar MATE em UMA jogada?

Categoria 4: Possibilidade de xeque-mate em um lance (Volke)

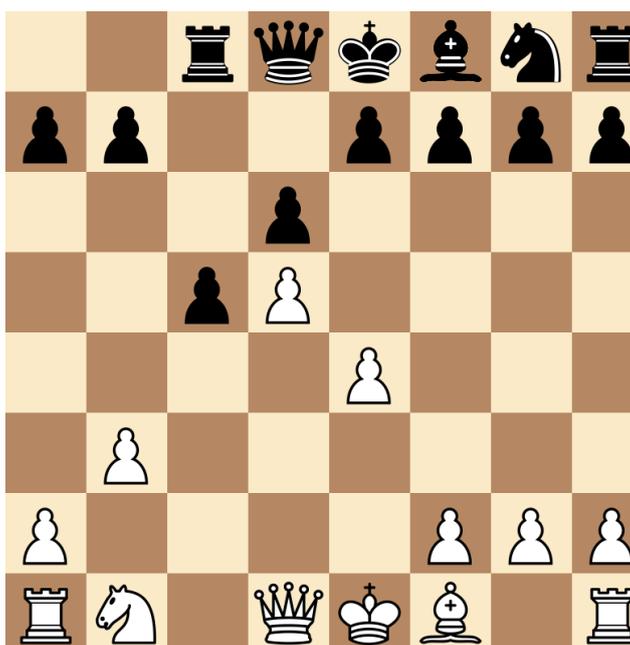
Resposta: Sim



Questão 3: O tabuleiro apresenta a situação conhecida como BISPOS DE CORES OPOSTAS?

Categoria: -

Resposta: Sim



Questão 4: É possível CAPTURAR um CAVALO PRETO com a peça em C3?

Categoria 5: Conhecimento de jogadas e possibilidade de captura (Nichelli)

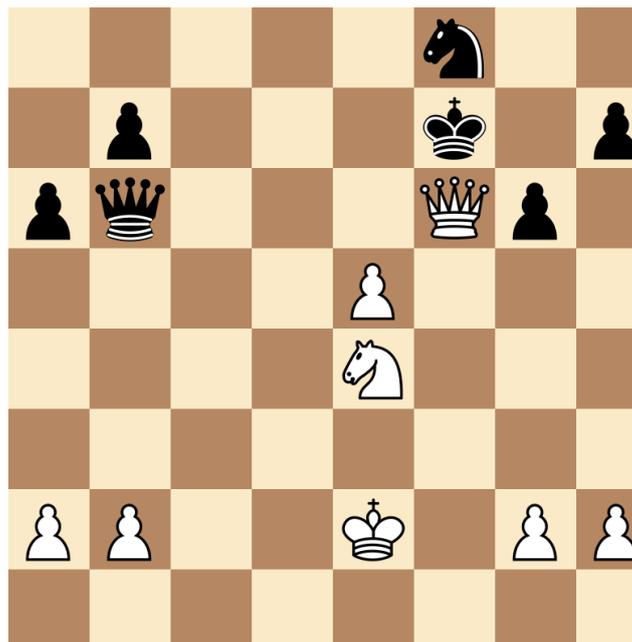
Resposta: Sim



Questão 5: O rei PRETO está em XEQUE?

Categoria 2: Reconhecimento de situações de xeque (Volke)

Resposta: Sim



Questão 6: O rei PRETO está em XEQUE-MATE?

Categoria 3: Reconhecimento de xeque-mate (Volke)

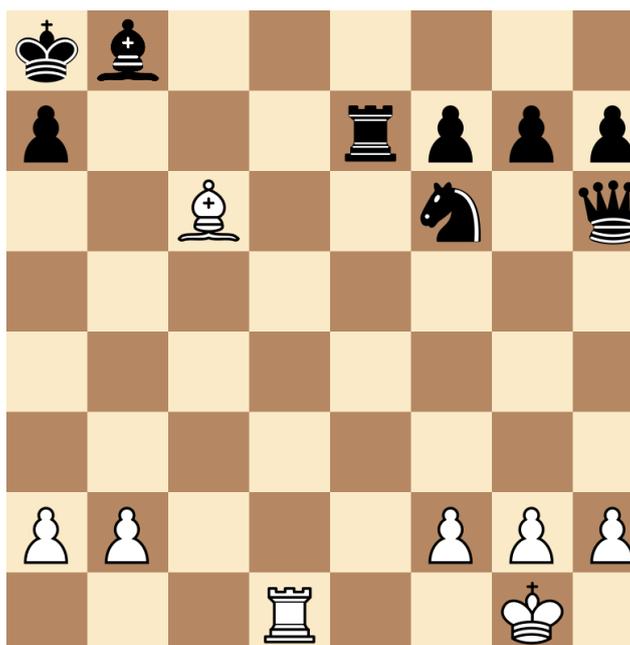
Resposta: Não



Questão 7: A TORRE PRETA consegue BLOQUEAR o BISPO BRANCO?

Categoria 5: Conhecimento de jogadas e possibilidade de captura (Nichelli)

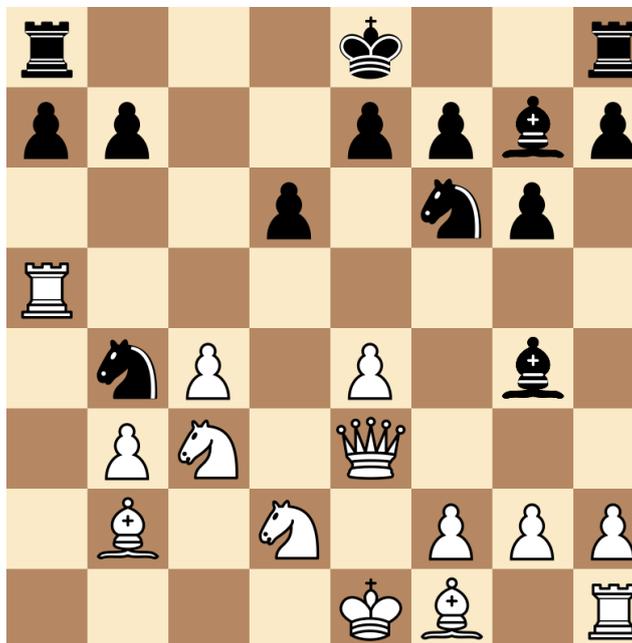
Resposta: Sim



Questão 8: A DAMA PRETA está no tabuleiro?

Categoria 1: Reconhecimento de peças e posicionamento (Volke)

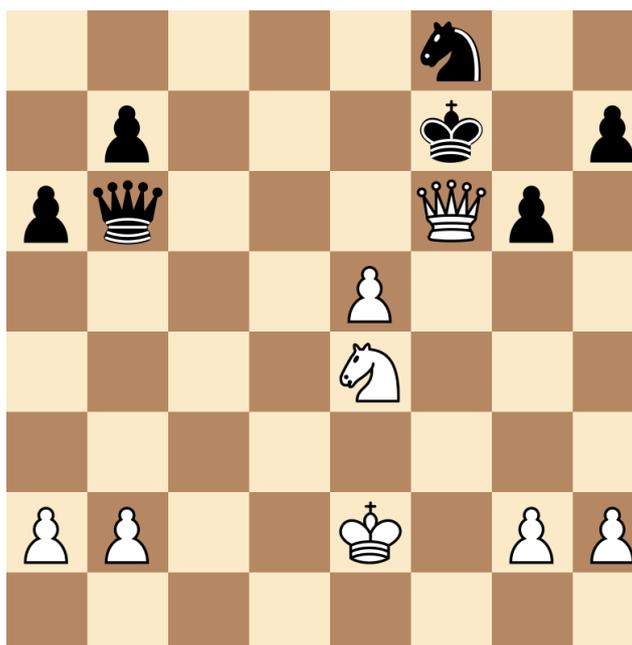
Resposta: Não



Questão 9: A DAMA PRETA pode capturar a DAMA BRANCA?

Categoria 5: Conhecimento de jogadas e possibilidade de captura (Nichelli)

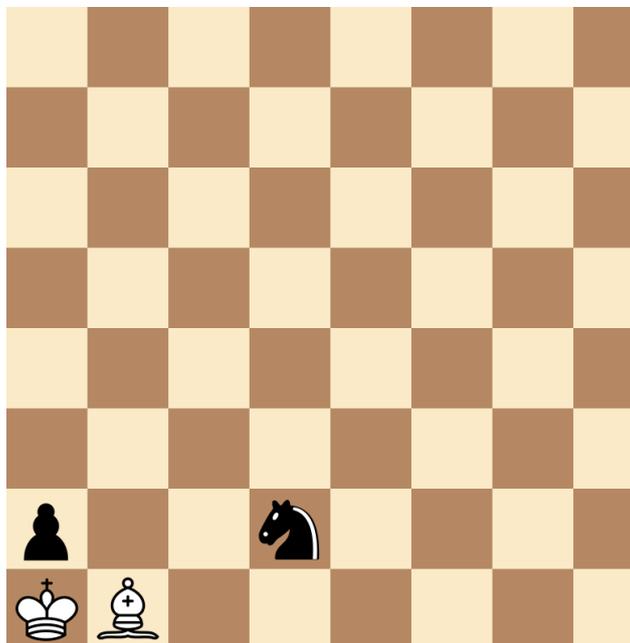
Resposta: Sim



Questão 10: As PRETAS podem dar MATE em UMA jogada?

Categoria 4: Possibilidade de xeque-mate em um lance (Volke)

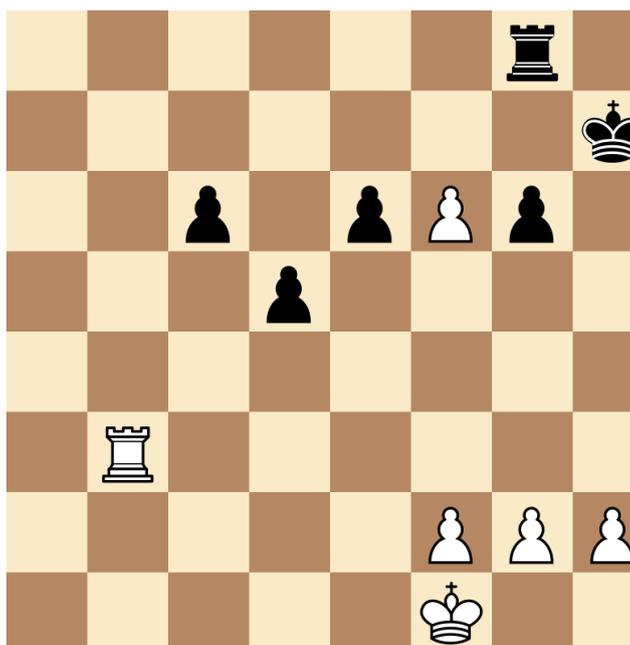
Resposta: Sim



Questão 11: Existem MAIS peças na ALA DO REI do que na ALA DA DAMA?

Categoria: -

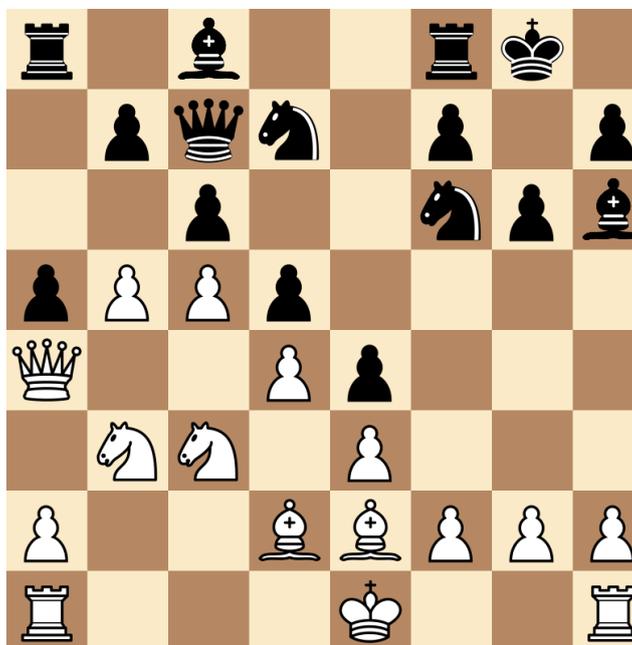
Resposta: Sim



Questão 12: Considerando que as peças presentes na PRIMEIRA FILEIRA NÃO foram movidas, as BRANCAS podem realizar o GRANDE ROQUE?

Categoria: -

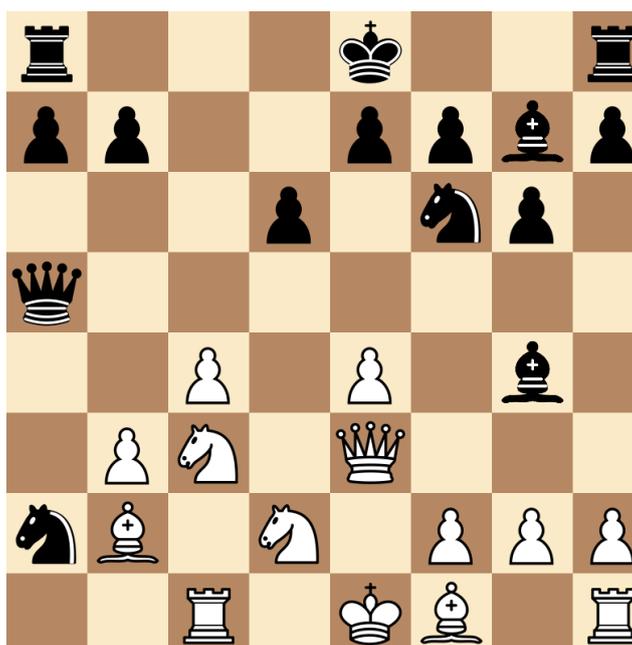
Resposta: Sim



Questão 13: Existem mais CAVALOS PRETOS do que BRANCOS na ALA DO REI?

Categoria: -

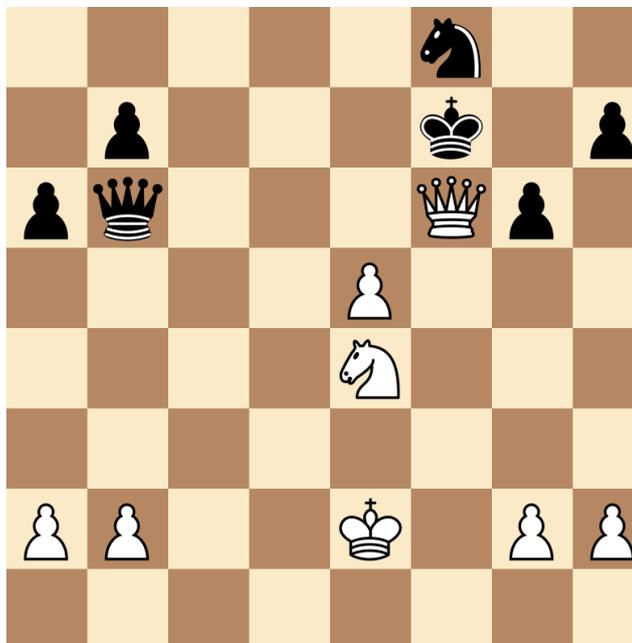
Resposta: Sim



Questão 14: O rei PRETO está em XEQUE-MATE?

Categoria 3: Reconhecimento de xeque-mate (Volke)

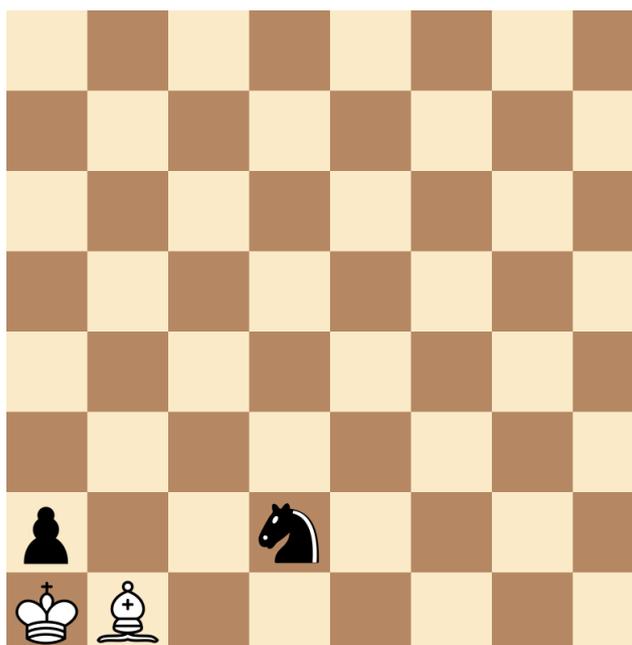
Resposta: Não



Questão 15: O REI PRETO encontra-se no tabuleiro?

Categoria 1: Reconhecimento de peças e posicionamento (Volke)

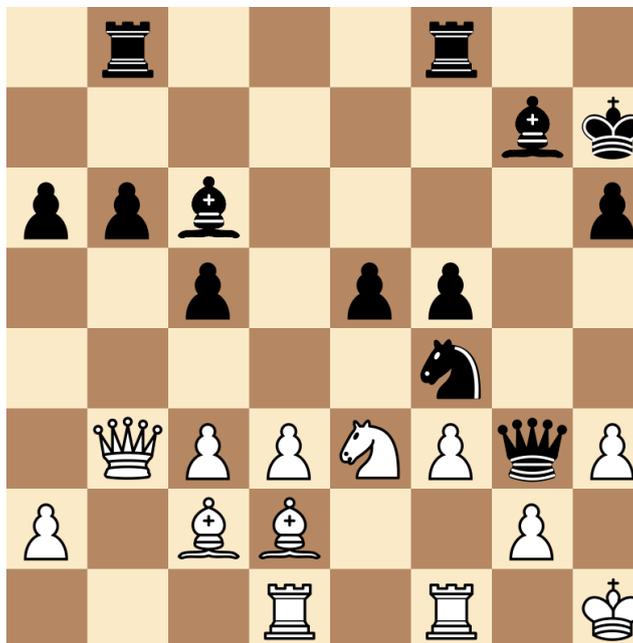
Resposta: Não



Questão 16: A DAMA PRETA pode dar MATE em UMA jogada?

Categoria 4: Possibilidade de xeque-mate em um lance (Volke)

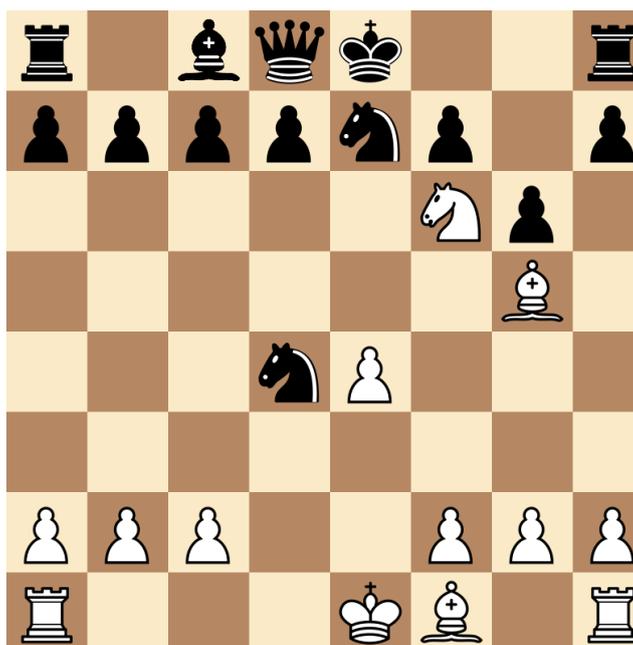
Resposta: Não



Questão 17: O rei PRETO está em XEQUE?

Categoria 2: Reconhecimento de situações de xeque (Volke)

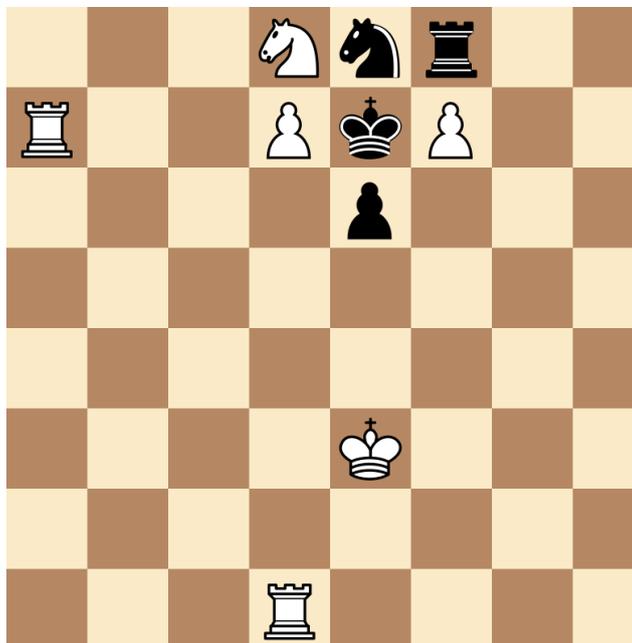
Resposta: Sim



Questão 18: As BRANCAS podem dar MATE em UMA jogada?

Categoria 4: Possibilidade de xeque-mate em um lance (Volke)

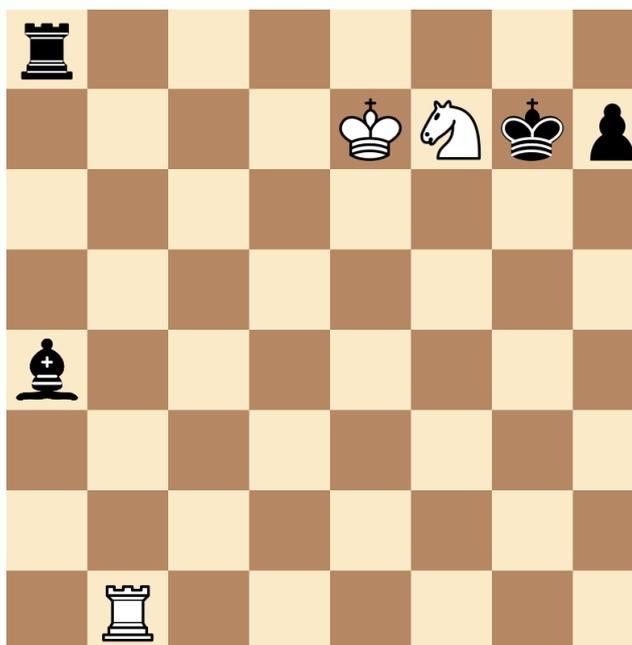
Resposta: Sim



Questão 19: O rei BRANCO está em XEQUE?

Categoria 2: Reconhecimento de situações de xeque (Volke)

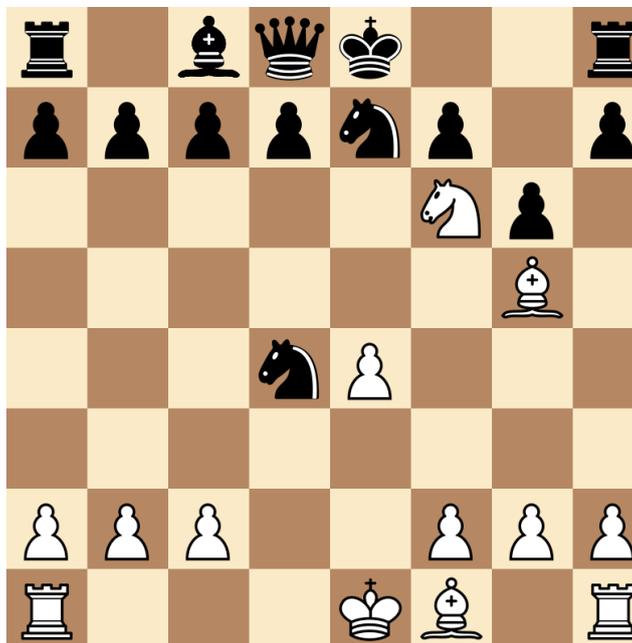
Resposta: Não



Questão 20: O CAVALO BRANCO pode ser capturado por um PEÃO PRETO?

Categoria 5: Conhecimento de jogadas e possibilidade de captura (Nichelli)

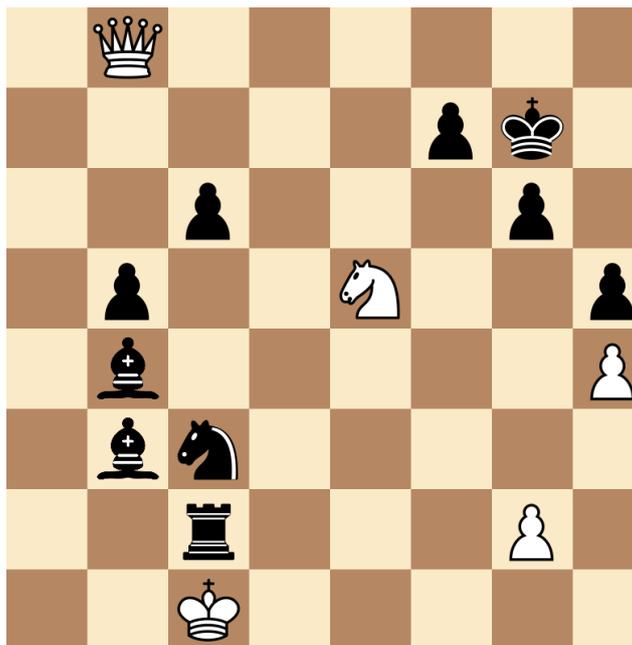
Resposta: Não



Questão 21: O rei BRANCO está em XEQUE-MATE?

Categoria 3: Reconhecimento de xeque-mate (Volke)

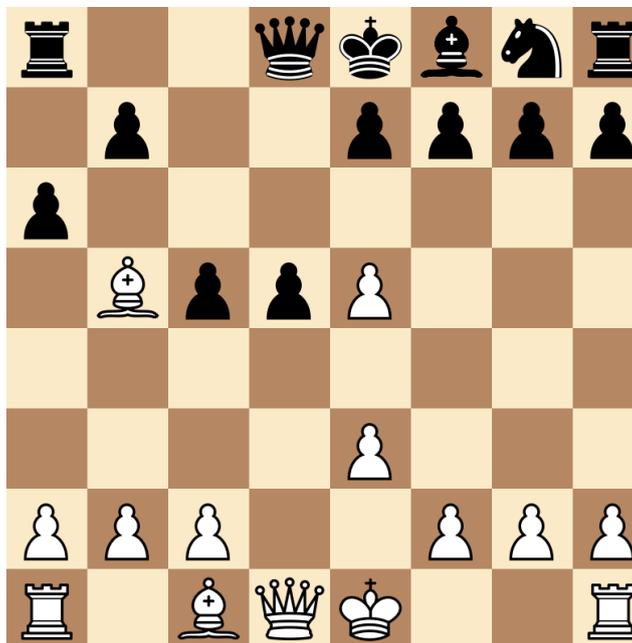
Resposta: Sim



Questão 22: O rei PRETO está em XEQUE?

Categoria 2: Reconhecimento de situações de xeque (Volke)

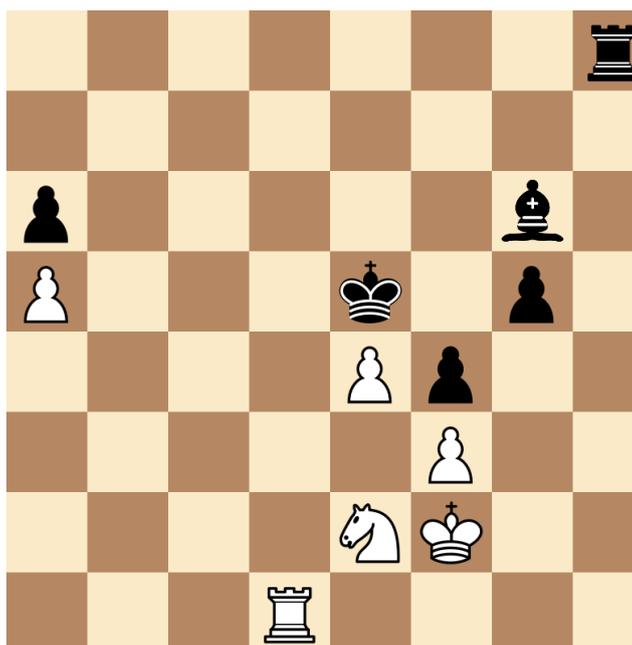
Resposta: Sim



Questão 23: O rei PRETO está em XEQUE?

Categoria 2: Reconhecimento de situações de xeque (Volke)

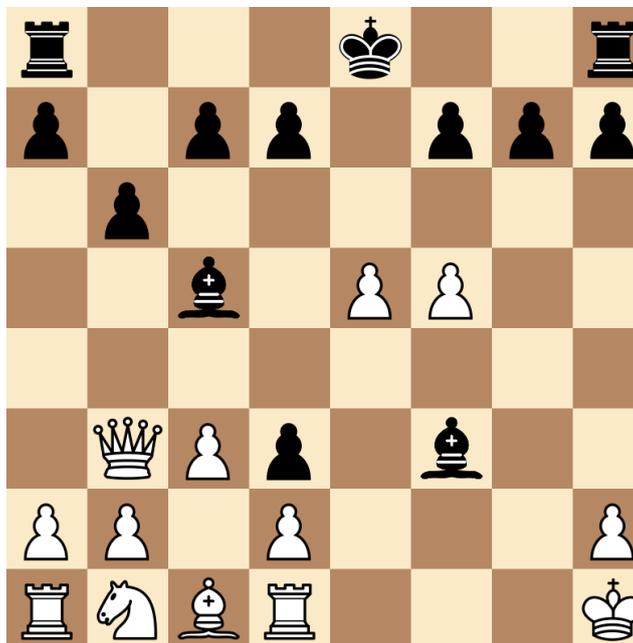
Resposta: Não



Questão 24: O rei BRANCO está em XEQUE-MATE?

Categoria 3: Reconhecimento de xeque-mate (Volke)

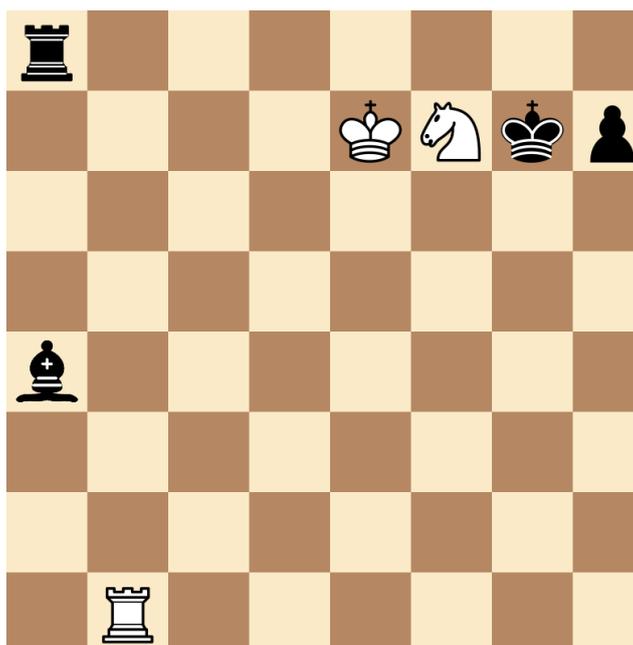
Resposta: Sim



Questão 25: As BRANCAS podem dar MATE em UMA jogada?

Categoria 4: Possibilidade de xeque-mate em um lance (Volke)

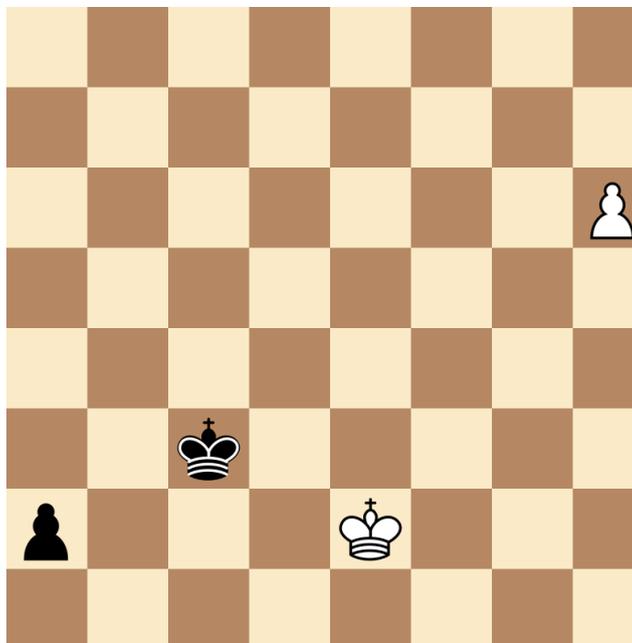
Resposta: Sim



Questão 26: Jogam as BRANCAS: As PRETAS podem GANHAR?

Categoria 5: Conhecimento de jogadas e possibilidade de captura (Nichelli)

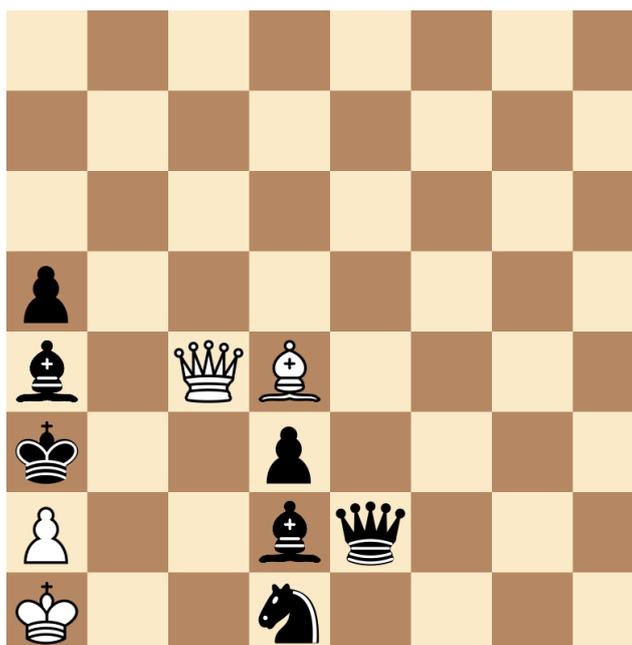
Resposta: Não



Questão 27: O CAVALO BRANCO está no tabuleiro?

Categoria 1: Reconhecimento de peças e posicionamento (Volke)

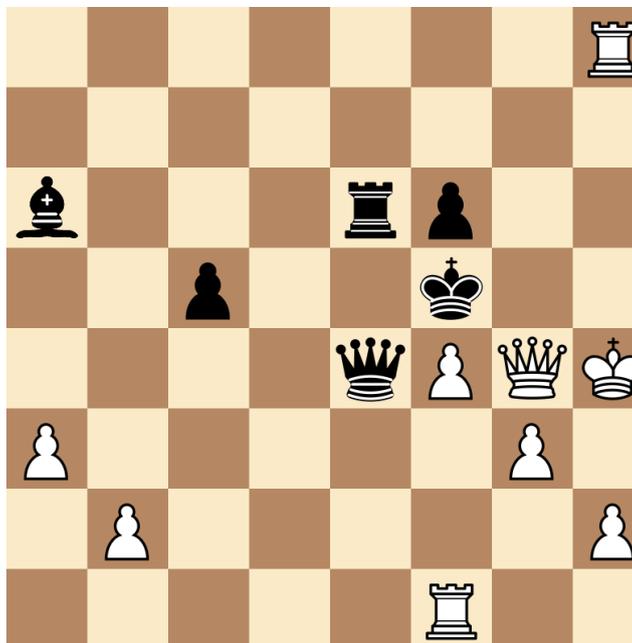
Resposta: Não



Questão 28: O rei PRETO está em XEQUE-MATE?

Categoria 3: Reconhecimento de xeque-mate (Volke)

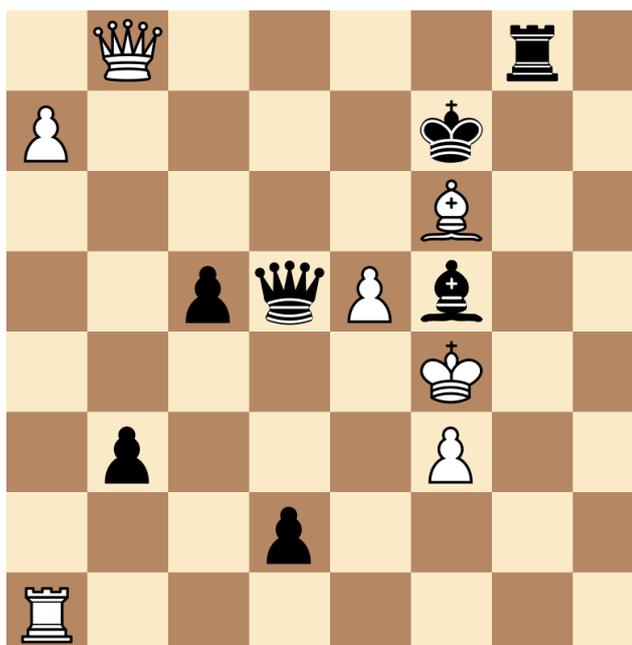
Resposta: Sim



Questão 29: O rei BRANCO está em XEQUE?

Categoria 2: Reconhecimento de situações de xeque (Volke)

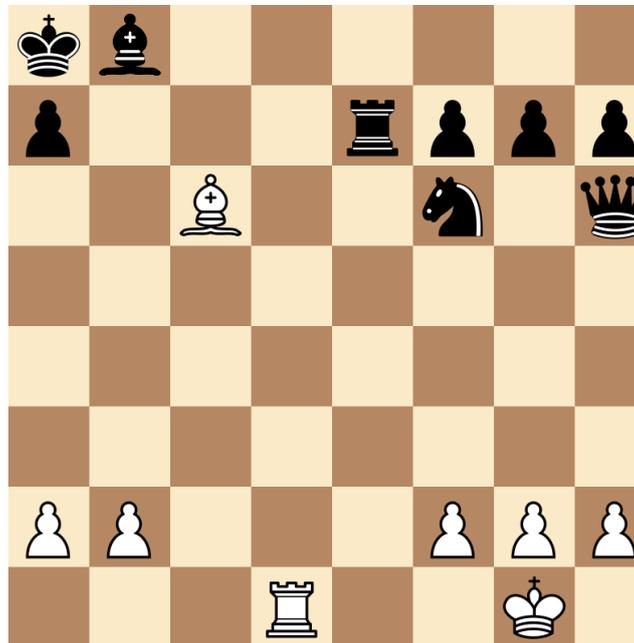
Resposta: Não



Questão 30: O rei PRETO está em XEQUE-MATE?

Categoria 3: Reconhecimento de xeque-mate (Volke)

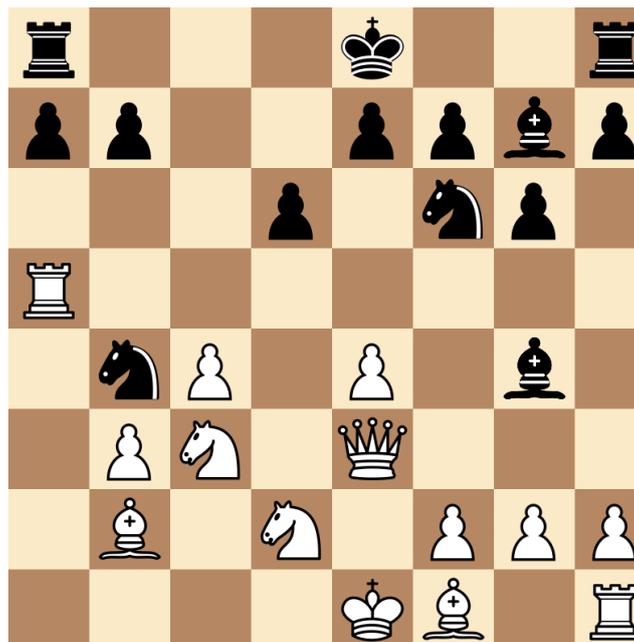
Resposta: Não



Questão 31: É possível CAPTURAR um PEÃO BRANCO com a peça em G4?

Categoria 5: Conhecimento de jogadas e possibilidade de captura (Nichelli)

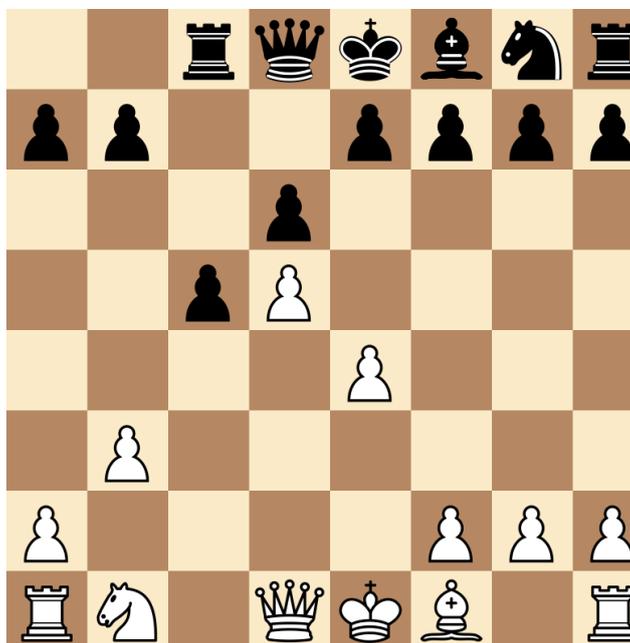
Resposta: Não



Questão 32: As BRANCAS podem dar MATE em UMA jogada?

Categoria 4: Possibilidade de xeque-mate em um lance (Volke)

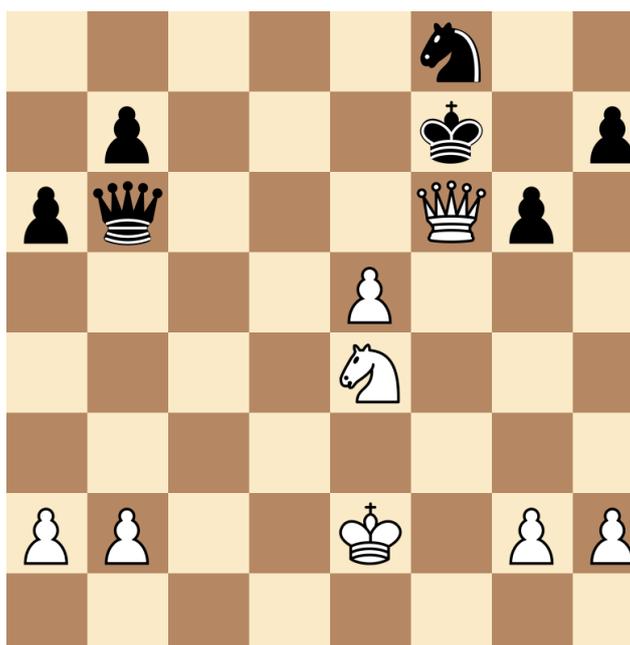
Resposta: Não



Questão 33: AMBOS os jogadores possuem MESMA QUANTIDADE e TIPO de peças?

Categoria 1: Reconhecimento de peças e posicionamento (Volke)

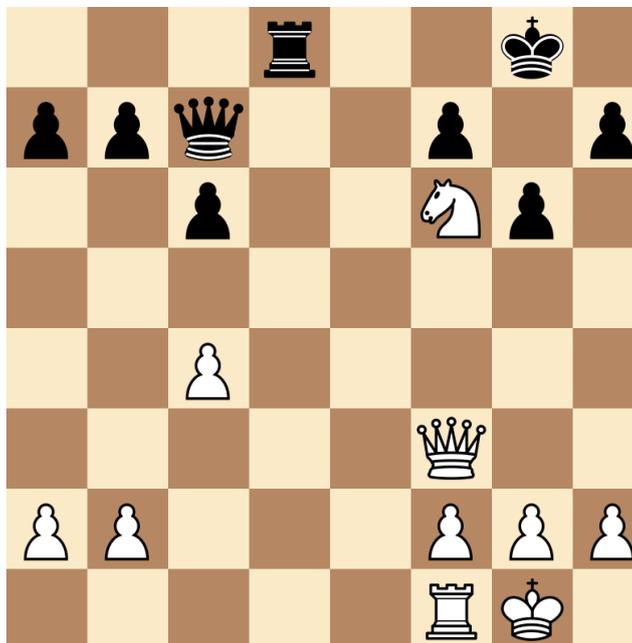
Resposta: Não



Questão 34: O rei PRETO está em XEQUE?

Categoria 2: Reconhecimento de situações de xeque (Volke)

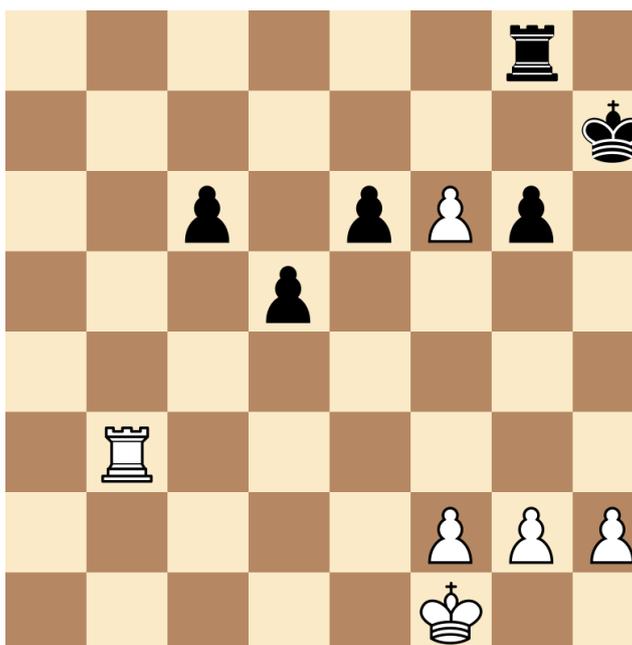
Resposta: Sim



Questão 35: As BRANCAS podem dar MATE em UMA jogada?

Categoria 4: Possibilidade de xeque-mate em um lance (Volke)

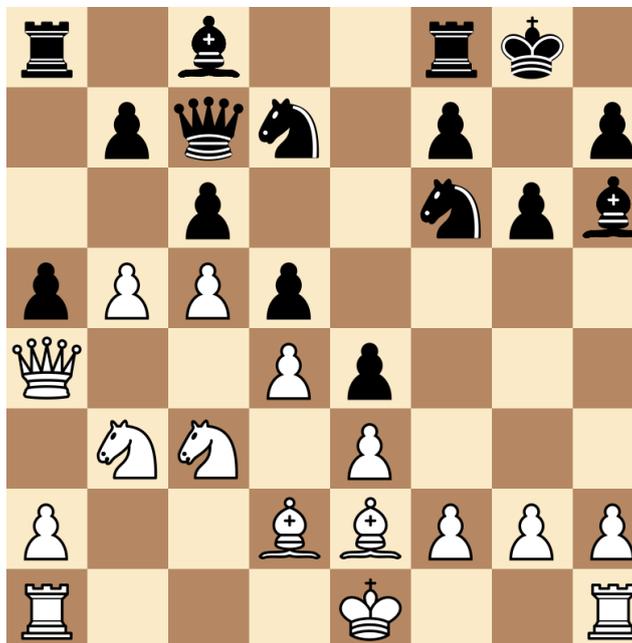
Resposta: Sim



Questão 36: Um BISPO PRETO foi CAPTURADO?

Categoria 1: Reconhecimento de peças e posicionamento (Volke)

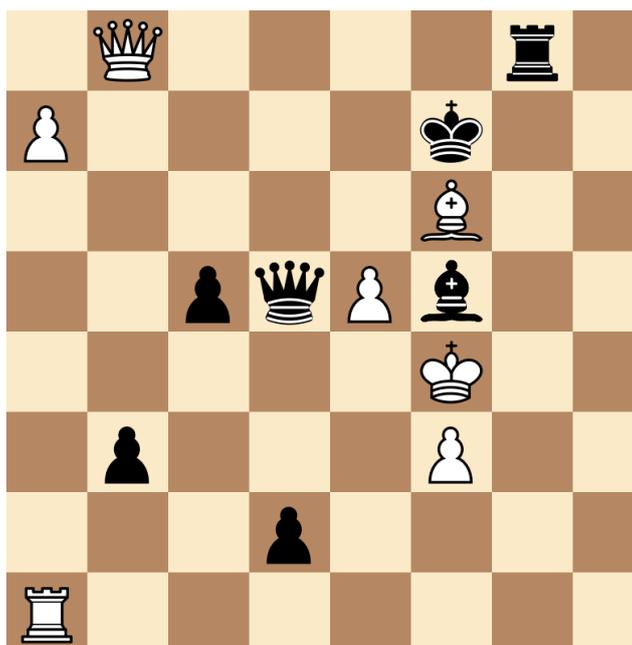
Resposta: Não



Questão 37: A DAMA PRETA pode dar MATE em UMA jogada?

Categoria 4: Possibilidade de xeque-mate em um lance (Volke)

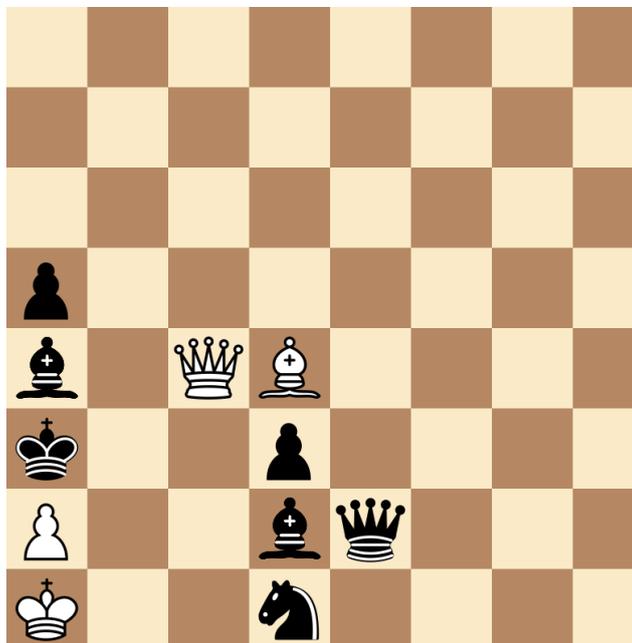
Resposta: Não



Questão 38: O rei PRETO está em XEQUE?

Categoria 2: Reconhecimento de situações de xeque (Volke)

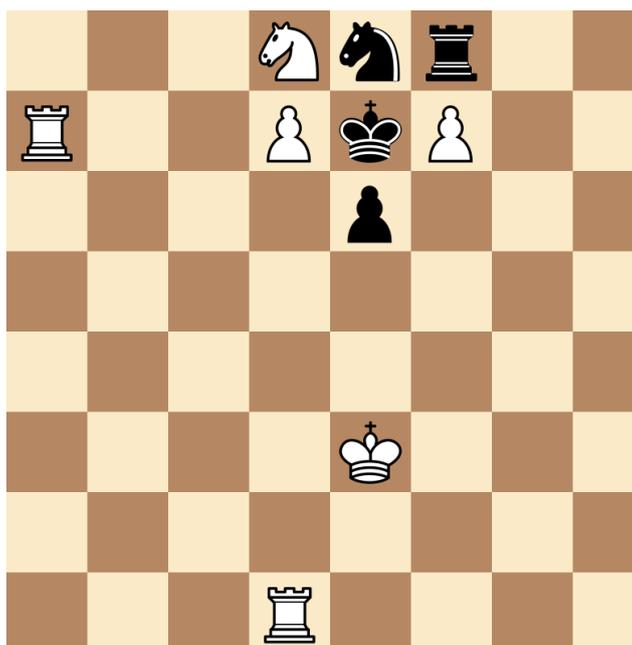
Resposta: Não



Questão 39: O rei PRETO está em XEQUE-MATE?

Categoria 3: Reconhecimento de xeque-mate (Volke)

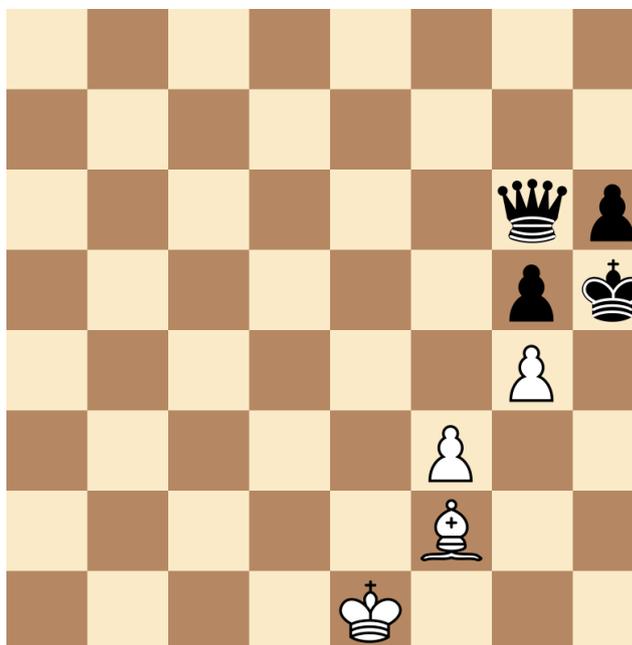
Resposta: Não



Questão 42: O rei PRETO está em XEQUE-MATE?

Categoria 3: Reconhecimento de xeque-mate (Volke)

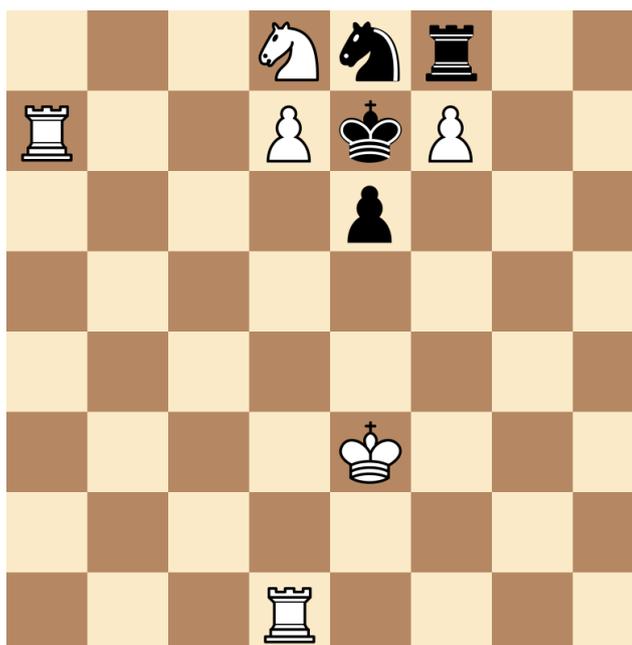
Resposta: Sim



Questão 43: Existe MAIS DE UM jeito de dar MATE no rei PRETO em UM lance?

Categoria 4: Possibilidade de xeque-mate em um lance (Volke)

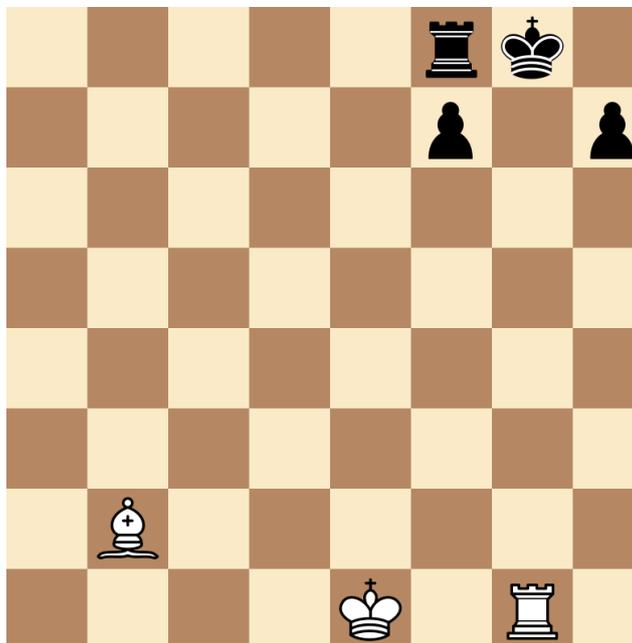
Resposta: Não



Questão 44: O rei PRETO está em XEQUE-MATE?

Categoria 3: Reconhecimento de xeque-mate (Volke)

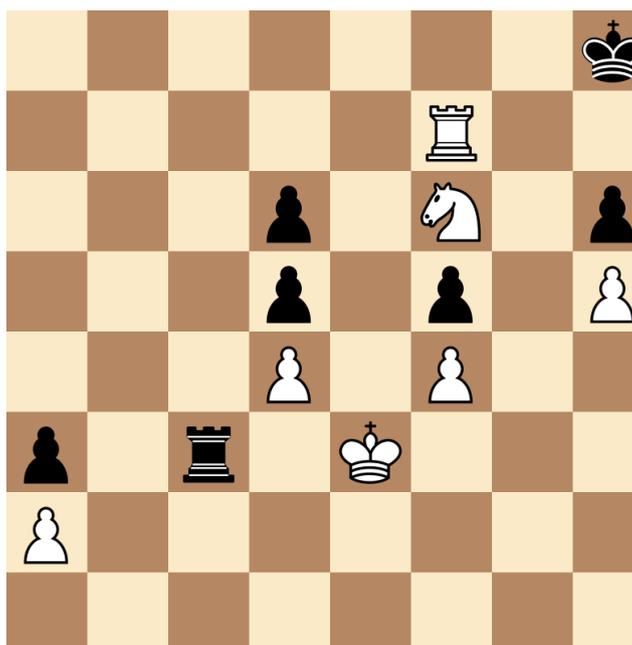
Resposta: Sim



Questão 45: O rei BRANCO está em XEQUE?

Categoria 2: Reconhecimento de situações de xeque (Volke)

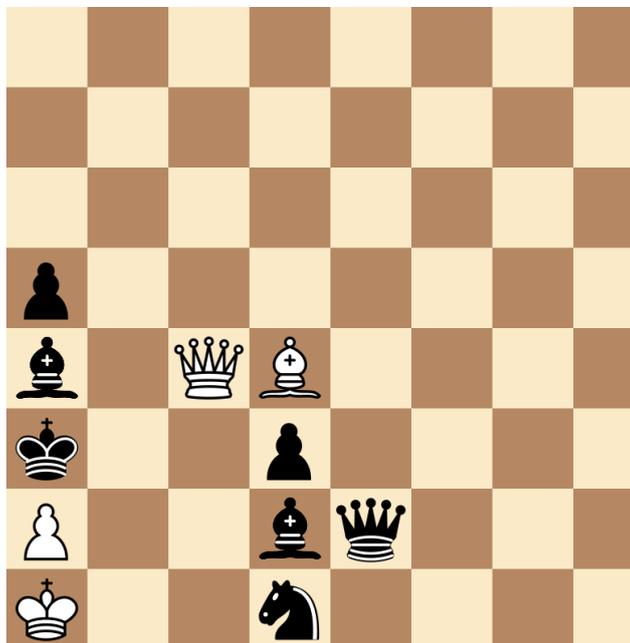
Resposta: Sim



Questão 48: O PEÃO PRETO consegue CAPTURAR a DAMA BRANCA?

Categoria 5: Conhecimento de jogadas e possibilidade de captura (Nichelli)

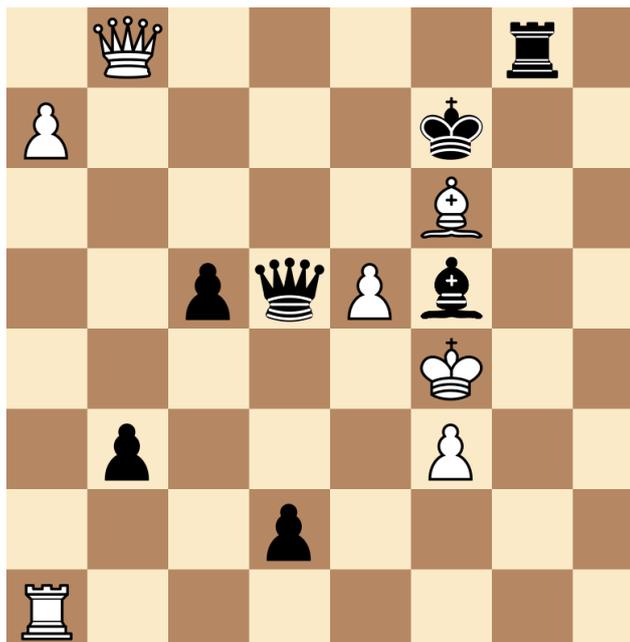
Resposta: Não



Questão 49: A TORRE PRETA pode dar XEQUE no rei BRANCO?

Categoria 5: Conhecimento de jogadas e possibilidade de captura (Nichelli)

Resposta: Sim



Questão 50 O rei PRETO está em XEQUE?

Categoria 2: Reconhecimento de situações de xeque (Volke)

Resposta: Não

