

**INSTITUTO POLITÉCNICO DE LISBOA
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA DA SAÚDE DE LISBOA**

**MAPEAMENTO DAS REGIÕES CEREBRAIS
ASSOCIADAS AO ENGANO**

ALUNA: Mafalda Geraldês Ferreira Amaro Perez

ORIENTADOR: Professor Doutor Hugo Alexandre Ferreira
Instituto de Biofísica e Engenharia Biomédica (IBEB), Faculdade de
Ciências da Universidade de Lisboa

Mestrado em Radiações Aplicadas às Tecnologias da Saúde
Ramo de Ressonância Magnética

Lisboa 2013

MAPEAMENTO DAS REGIÕES CEREBRAIS ASSOCIADAS AO ENGANO

A Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor e que tal não viole nenhuma restrição imposta por artigos publicados que estejam incluídos neste trabalho “ Mapeamento das Regiões cerebrais associadas ao engano”.

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, Doutor Hugo Ferreira, por todo o interesse demonstrado durante a realização deste estudo, todas as deslocações até ao Hospital São José para a recolha de dados e todo o tempo dispensado na revisão do trabalho.

Agradeço ao professor José Paulo Santos do Instituto Universitário da Maia (ISMAI) por disponibilizar o sistema de resposta compatível com a Ressonância Magnética, que permitiu a gravação dos dados fornecidos por todos os participantes.

Não poderia deixar de agradecer a todos os profissionais do Hospital São José, que permitiram o estudo neste estabelecimento: ao Dr. João Reis pela possibilidade de realizar o estudo no serviço, ao Dr. Luís Cerqueira pelo apoio a nível de avaliação clínica, à técnica coordenadora Cristina Almeida e à técnica Joana Fialho pelo apoio técnico.

Ao meu colega Nivaldo Pereira, que esteve presente em todos os momentos de recolha de dados e que foi imprescindível na montagem de todo o material necessário para a recolha dos mesmos.

Agradeço igualmente à professora e Mestre Margarida Ribeiro, bem como à professora Doutora Rita Nunes, pela disponibilidade demonstrada para ajudar em tudo o que foi necessário. Agradeço à professora Doutora Sandra Rua, da Escola Superior de Tecnologia da Saúde do Porto, que me ajudou na revisão do trabalho.

O meu especial e enorme agradecimento ao meu namorado, Mestre João Leote, pelo contributo e participação durante a realização das questões com o programa SuperLab, bem como na análise de dados a partir do FSL. Pessoalmente, admiro a extrema paciência com que sempre me apoiou e me incentivou a não desistir.

Por fim, e não menos importante, obrigado a todos os voluntários que se disponibilizaram para este estudo.

Resumo

Introdução

Estudos defendem o uso de Ressonância Magnética funcional (RMf) para detetar a mentira. Num estudo prévio, estimou-se que pelo menos 90% dos participantes terão sido denunciados pela Ressonância Magnética. Este estudo utiliza o paradigma de perguntas, baseado no design-misto, para analisar a atividade cerebral envolvidas em áreas relacionadas com a mentira / verdade relacionados com um roubo ficcional anel-relógio.

De forma inovadora, é igualmente apresentado um método que através da visualização de imagens, pretende descobrir se a pessoa está a mentir ou não, em relação ao respetivo roubo.

Métodos

A partir de uma seleção de participantes saudáveis, com idades compreendidas entre os 21 e os 36 anos e mediante consentimento informado, procedeu-se ao rastreio de eventuais obstáculos à realização do exame, através da aplicação de um inquérito para garantir a segurança e excluir contra-indicações na realização do estudo de Imagiologia por Ressonância Magnética.

Os sujeitos foram convidados a escolher entre dois objetos - relógio ou anel - para roubar e colocar num armário disponibilizado para o efeito. Foram apresentadas uma série de questões com os objetos roubados, às quais os participantes responderam com a ajuda de uma caixa de botões de resposta.

Foram igualmente apresentadas 10 imagens de objetos, onde estavam incluídos o anel e o relógio. Neste paradigma, os participantes apenas tinham de observar as imagens, de modo a averiguar as áreas cerebrais ativas correspondentes.

O exame foi realizado numa Ressonância Magnética de 1,5 Tesla da marca Siemens. A análise dos resultados foi realizada com o auxílio do FSL (FMRIB Software Library) e através do uso da ferramenta FEAT.

Resultados

No paradigma das imagens foi possível detetar a mentira em 67% dos participantes. No paradigma das perguntas o sucesso foi mais elevado, conseguindo-se descobrir em 87,5% dos participantes o objeto roubado.

O lobo parietal foi a área que se reconheceu como ativa em todos os participantes, nos quais foi possível identificar o objeto roubado. Em 87,5% dos casos, os participantes foram igualmente denunciados pelo tempo que demoraram a responder às questões (tempos de reação).

Conclusão

O paradigma das perguntas associado aos tempos de reação, é sem dúvida uma ferramenta fulcral para identificar quais as áreas cerebrais associadas ao engano.

Palavras - chave: Ressonância Magnética Funcional; Detecção da Mentira; Roubo Anel/Relógio; Efeito BOLD; Ativação Cerebral.

Abstract

Background

In last decade fMRI (Functional Magnetic Resonance Imaging) had been used for lie perception and previous studies indicate a 90% successful rate after a mock crime using a mixed-design questions paradigm to perceive what was the object stolen through brain activity analysis. Our study prompts to reproduce this studies and also allying a mixed slide show consisting in images of objects to lie perception.

Methods

The study was undertaken in nine healthy subjects, aged 21 to 36 after their consent and screening to evaluate their aptitude to participate in this study. The subjects were asked to commit a mock crime stealing only one object between two, a watch or a ring, and put this in specific locker. In fMRI was performed two experiments, first a slideshow with ten images of diverse objects including the watch and ring and second a mixed design questions paradigm.

The data was collected in a 1.5 Tesla MRI from Siemens with a button box to recording subject's responses in second experiment. The analyses was performed through a tool (FEAT) from FMRIB Software Library and also was analyzed the time reaction between the questions and the responses.

Results

In first set of experiments was possible to detect successfully 67 % of subjects that were lying and in the second 87.5% of subjects managing to find what object was stolen. The parietal area revealed more brain activity in overall of two experiments and the time reaction denounced 87.5% of second experiment subjects.

Conclusion

The questions paradigm together with time reaction analyzes seems to play an important role to perception of brain activity areas associated with the action of lying.

Keywords: Functional Magnetic Resonance Imaging; Lie Perception; Mock Crime; BOLD Effect; Cerebral Activity .

Índice Geral

Capítulo 1	1
INTRODUÇÃO	1
1.1 Apresentação e pertinência do estudo	1
1.2 Anatomia Cerebral	3
Capítulo 2	6
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA FUNCIONAL	6
2.1 A resposta hemodinâmica e o efeito BOLD	7
2.2 O efeito BOLD e o sinal em RMf.....	9
2.3 Paradigmas	12
2.4 Sequências Ultra-rápidas	14
2.4.1 Imagem Eco Planar – EPI	15
2.4.2 Sequências Gradiente Eco EPI – GE EPI.....	17
2.4.3 GE FLASH – Fast Low Angle Shot	18
2.5 Preparação para um Exame de RMf.....	19
2.5.1 Aquisição das imagens	20
Capítulo 3	23
ANÁLISE DE DADOS E PÓS-PROCESSAMENTO	23
3.1 Pré-processamento da Informação Funcional	25
3.1.1 Detecção e correcção dos movimentos de cabeça.....	25
3.1.2 Correcção temporal dos cortes de aquisição.....	26
3.1.3 Remoção de Flutuações e Smoothing temporal	26
3.1.4 Smoothing Espacial	27
3.1.5 Correcção de distorção das imagens funcionais	28
3.2 Integração da informação anatómica e funcional	28
3.2.1 Coregisto de informações anatómicas e funcionais	29
Capítulo 4	30
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA FUNCIONAL APLICADA À DETECÇÃO DA MENTIRA.....	30
4.1 Polígrafo	32
4.2 Diferentes métodos para detetar a mentira	34
4.3 Desafios da RMf e detecção da mentira: estado de arte na investigação.....	38
4.4 Familiaridade e reconhecimento do local.....	40

4.4.1 Sinais corporais relacionados com a Mentira	42
4.5 Regiões cerebrais ativadas pela mentira.....	44
4.5.1 Tempos de reação	46
4.5.2 Precisão em testes para detecção da mentira.....	47
4.6 Utilização da detecção da mentira e legislação: o caso dos EUA	48
4.6.1 Empresas dedicadas à detecção da mentira por RMf	49
4.7 Vantagens e Desvantagens Futuras da RMf aplicada à detecção da mentira	50
4.7.1 Obstáculos a ultrapassar pela RMf aplicada à mentira.....	51
4.8 Justificação do Tema	51
4.9 Objetivos	52
Capítulo 5	53
MATERIAIS E MÉTODOS	53
5.1 Caracterização da amostra.....	53
5.2 Preparação do participante.....	53
5.3 Paradigma.....	54
5.4 Equipamento utilizado no estudo	59
5.5 Protocolo	62
5.6 Análise de dados / Estatística.....	64
5.7 BET – Brain Extraction Tool	66
5.8 FEAT – fMRI Expert Analysis Tool.....	67
Capítulo 6	76
RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
Capítulo 7	102
CONCLUSÕES.....	102
7.1 Limitações e perspectivas futuras.....	103
Capítulo 8	105
Referências Bibliográficas	105
APÊNDICE	1
ANEXO 1	I
QUESTIONÁRIO DE SEGURANÇA PARA REALIZAÇÃO DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA	I
ANEXO 2	II
CONSENTIMENTO INFORMADO.....	II
ANEXO 3	V

DECLARAÇÃO DO VOLUNTÁRIO	V
ANEXO 4	VI
FORMULÁRIO DE CONSENTIMENTO INFORMADO	VI
ANEXO 5	VIII
PERGUNTAS UTILIZADAS DURANTE O PARADIGMA DAS QUESTÕES	VIII
ANEXO 6	XI
RESULTADOS DO PARADIGMA DAS IMAGENS.....	XI
ANEXO 7	XIX
RESULTADOS - PARADIGMA DAS PERGUNTAS.....	XIX

Índice de Figuras

Figura 1 - Divisões do Sistema Nervoso Central.....	3
Figura 2 - Sulcos e Giros cerebrais	5
Figura 3 - Diagrama dos mecanismos do efeito BOLD.....	7
Figura 4 – Fatores que influenciam a alteração de sinal nas imagens de RM.....	8
Figura 5 - Sensibilidade do efeito BOLD para TE num campo de 3T.....	10
Figura 6 - Função da resposta hemodinâmica.	11
Figura 7 - Resposta hemodinâmica em função da activação ou ausência do paradigma	12
Figura 8 - Imagens cerebrais adquiridas pela sequência EPI.....	21
Figura 9 - Estudo experimental por RMf utilizando uma tarefa motora.	21
Figura 10 - Desenhos experimentais típicos que incluem desde a apresentação do estímulo até ao método de análise utilizado.	22
Figura 11 - Aquisição e avaliação de dados de RMf.	24
Figura 12 - Pixéis ativos devido ao movimento na região frontal – Falsos-positivos.	26
Figura 13 – O smoothing espacial diminui a resolução espacial, reduzindo a magnitude do sinal BOLD.....	27
Figura 14 - Regiões cerebrais ativas relacionadas com a mentira (vermelho) e com a verdade (azul).	45
Figura 15 - Esquema representativo do tempo de duração das perguntas, respostas e períodos de descanso utilizado no paradigma para detetar a áreas cerebrais associadas à mentira.....	55
Figura 16 - Comparação entre o método design misto e método evento-relacionado.	56
Figura 17 - Paradigma da visualização das imagens.....	58
Figura 18 – Exemplo de eventos criados através do Superlab.	59
Figura 19 - Ressonância Magnética 1,5 T Siemens do Hospital São José.....	60
Figura 20 – Caixa de respostas Lumina LP-400	61
Figura 21 - Painel / ecrã onde os participantes podem visualizar as perguntas.....	62
Figura 22 - Processo que contempla desde o paradigma até à interpretação de resultados.....	65
Figura 23 - Brain Exctraction tool.....	66
Figura 24 - Visualização (<i>FSLview</i>) do cérebro antes da aplicação do algoritmo BET.....	66
Figura 25 - Visualização (<i>FSLview</i>) do cérebro após a aplicação do algoritmo BET.....	67
Figura 26 - First-level analysis.7	68
Figura 27 - First-level analysis – Data.....	69
Figura 28 - First-level analysis - Pre-stats.....	70
Figura 29 - First-level analysis - Registration.....	71
Figura 30 - First-level analysis - Full model setup.....	72
Figura 31 - General Linear Model - "Events"	73
Figura 32 - Contrasts & F-tests e modelo dos regressores e do contraste utilizado – Paradigma das questões.....	74
Figura 33 - Post-stats.....	75
Figura 34 - Resultados obtidos não correspondem ao objeto roubado na realidade.....	78

Figura 35 - Resultados obtidos não permitem aferir conclusões em relação ao objeto roubado (relógio).	79
Figura 36 - Resultados obtidos permitem admitir que o objeto roubado foi o anel.	81
Figura 37 - Resultados correspondem ao objeto roubado (anel).	85
Figura 38 - Resultados correspondem ao objeto roubado (relógio).....	88
Figura 39 - Resultados correspondem ao objeto roubado (relógio).....	90
Figura 40 - Os resultados observados não permitem retirar as conclusões corretas no que diz respeito ao objeto roubado (anel).	93
Figura 41 - Resultados obtidos correspondem ao objeto roubado na realidade (relógio).	XII
Figura 42 - Resultados obtidos permitem concluir que o objeto roubado foi o relógio.	XIII
Figura 43 - Os resultados induzem o observador em erro ao pensar que o objeto roubado é o anel.....	XV
Figura 44 - Os resultados expostos não permitem aferir o objeto roubado	XVI
Figura 45 - Resultados demonstram que o objeto roubado é o anel.	XVIII
Figura 46 - Os resultados observados correspondem ao objeto roubado (relógio).	XX
Figura 47 - Os resultados expostos não permitem retirar as conclusões corretas acerca do objeto roubado (relógio).....	XXIII
Figura 48 - Os resultados obtidos não correspondem ao objeto roubado na realidade (anel).	XXV
Figura 49 - Resultados demonstram que o objeto roubado foi o anel.	XXVIII

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Sequências utilizadas.	63
Tabela 2 - Características das sequências utilizadas no paradigma de imagens e no paradigma das perguntas.	63
Tabela 3 - Representação das condições referentes às zonas de ativação durante a visualização dos diferentes objetos.	77
Tabela 4 - Áreas ativas durante a visualização do anel e do relógio. A letra "D" significa direito e a letra "E" significa esquerdo.	82
Tabela 5 - Condições durante a visualização das perguntas.....	83
Tabela 6 - Condições que relacionam os objetos entre si e os objetos com as perguntas de controlo.	84
Tabela 7 - Áreas ativas durante o paradigma das imagens. A letra "D" corresponde a direito e a letra "E" significa esquerdo.	94
Tabela 8 - Tabela que demonstra os tempos de reação no paradigma das perguntas.	95
Tabela 9 - Resumo dos objetos roubados nos dois paradigmas.....	100

Lista de Abreviaturas (por ordem alfabética)

AB - Áreas de Brodmann

ADN- Ácido Desoxirribonucleico

ADP – Adenosina Difosfato

AFNI - Analysis of Functional NeuroImage

ATP – Adenosina Trifosfato

ASL - Arterial Spin Labeling

BET - Brain Extraction Tool

BOLD - Blood Oxygenation Level Dependent

CBF - Fluxo Sanguíneo Cerebral

DICOM - Digital Imaging and Communication in Medicine

DTI –Imagem por Tensor de Difusão

EEG - Electroencefalograma

EPI – Imagem Eco Planar

ESP - Espaçamento entre os Ecos

EUA - Estados Unidos da América

FA – Ângulo de Nutação

FEAT - fMRI Expert Analysis Tool

FID – Decaimento Livre de Indução

FLASH – Fast Low Angle Shot

FLIRT - FMRIB's Linear Image Registration Tool

FSL - FMRIB Software Library

FRH - Função de Resposta Hemodinâmica

GE – Gradiente Eco

Hb – Desoxihemoglobina

HbO₂ - Oxihemoglobina

MCFLIRT - Motion Correction FMRIB's Linear Registration Tool

MEG - Magnetoencefalografia

NIfTI - Neuroimaging Informatics Technology Initiative

PET – Tomografia por Emissão de Positrões

rCBV - Relative Cerebral Blood Volume

rCMRO₂ - Regional Cerebral Metabolic Rate of Oxygen

RM – Ressonância Magnética

RMf - Ressonância Magnética Funcional

RSR – Razão Sinal-Ruído

SE – Eco de Spin

SNC - Sistema Nervoso Central

SNP - Sistema Nervoso periférico

SPM - Statistical Parametric Mapping

TE – Tempo de Eco

TMS - Estimulação Magnética Transcraniana

TR – Tempo de Repetição

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação e pertinência do estudo

A escolha do tema proposto prende-se com a necessidade que existiu durante séculos, de provar se um individuo estava ou não a dizer a verdade. Anteriormente à idade média, o método de detetar a mentira baseava-se em ações de fé que foram substituídas posteriormente pela tortura ⁽¹⁾.

Contudo, após a conclusão de que este método conduzia a muitas deduções erradas, foi fundamental encontrar métodos mais precisos.

Nesta procura, surgiu o interrogatório, que apesar de todas as suas limitações, pareceu o mais apropriado (mas não suficiente) para determinar a verdade ⁽¹⁾. Dada a necessidade de encontrar algo credível e cientificamente válido, surgiu a necessidade de se inventar um equipamento capaz de responder a estas necessidades.

É então que surge o polígrafo no ano de 1920. Este instrumento baseia-se em alterações fisiológicas, tais como: ansiedade, aumento da respiração, pressão arterial, pulsação e transpiração (resposta galvânica da pele) ⁽¹⁾.

No entanto, todas estas condições foram refutadas, pois existem defensores que todas estas características podem ser “manipuladas”, como no caso de mentirosos intencionais e treinados, que sentem pouca ansiedade no momento da mentira. O contrário também sucede, pois o facto de uma pessoa inocente se sujeitar a um teste para detetar a mentira, cria igualmente ansiedade, aumento dos batimentos cardíacos, aumento da transpiração e da frequência respiratória. Sendo assim, seria errado considerar uma pessoa culpada, baseando-se apenas nos níveis destes indicadores ⁽¹⁾.

Atualmente, a mentira continua presente, e como tal, a Ressonância Magnética (RM) apresenta-se como uma ferramenta não invasiva, capaz de ultrapassar com precisão e eficácia esta limitação ⁽¹⁾.

Acredita-se que as áreas ativadas no cérebro durante a mentira, são muito superiores àquelas que se ativam quando um indivíduo diz a verdade ⁽¹⁾. Estes aspectos cognitivos não podem ser avaliados por nenhum outro meio de deteção, permitindo assim à Ressonância Magnética Funcional (RMf) ser a progenitora neste campo ⁽¹⁾.

A mentira é descrita como “um comportamento social em que um indivíduo tenta convencer o outro a aceitar como verdade o que acredita ser falso” ⁽¹⁾. Tendo em conta esta afirmação, este estudo reflete-se em diversas vantagens, tendo em conta que a Ressonância Magnética Funcional baseia-se na quantidade de oxigénio presente no sangue, permitindo medir de forma indirecta a atividade neuronal e mapear as regiões do cérebro ativas.

Pensa-se que a falsificação de respostas exija uma maior quantidade de controlo cognitivo, de memória, de atenção e de manipulação de respostas, levando ao aumento do oxigénio nestas áreas, e por consequência, a uma maior ativação cerebral. Ao provar-se tal facto, é possível que num futuro próximo, se possam contornar todas as situações que são baseadas na mentira.

Deste modo, a Ressonância Magnética conquista terreno, na medida em que permite detetar alterações no fluxo cerebral, através de uma Técnica de Ressonância Magnética Funcional, designada por BOLD. Esta técnica permite medir de forma indirecta a actividade neuronal, contrastando com o polígrafo, que perde terreno ao medir apenas alterações do sistema nervoso simpático.

Em suma, este trabalho tem como objectivo ajudar e ser um complemento importante para a literatura, e de grande interesse para os seus leitores.

1.2 Anatomia Cerebral

O sistema nervoso é o local onde se realiza toda a actividade intelectual, sendo portanto, considerado o sistema mais complexo e privilegiado do corpo. Este é responsável pelo comportamento e regulação fisiológica ⁽²⁾.

A unidade funcional do sistema nervoso é o neurónio, que permite detetar pequenas alterações do meio através dos impulsos eléctricos ⁽²⁾.

As unidades funcionais do sistema nervoso permitem a recepção e transmissão de estímulos, com o objectivo de manter a homeostase fundamental para o processamento, transmissão e integração da informação ⁽²⁾.

O sistema nervoso divide-se em Sistema Nervoso Central (SNC) e Sistema Nervoso Periférico (SNP), e este último, permite a detecção de estímulos e a transmissão de informação para o SNC ⁽²⁾.

Na figura 1, pode-se visualizar em esquema, a forma de organização do SNC e a relação entre as estruturas anatómicas ⁽²⁾.

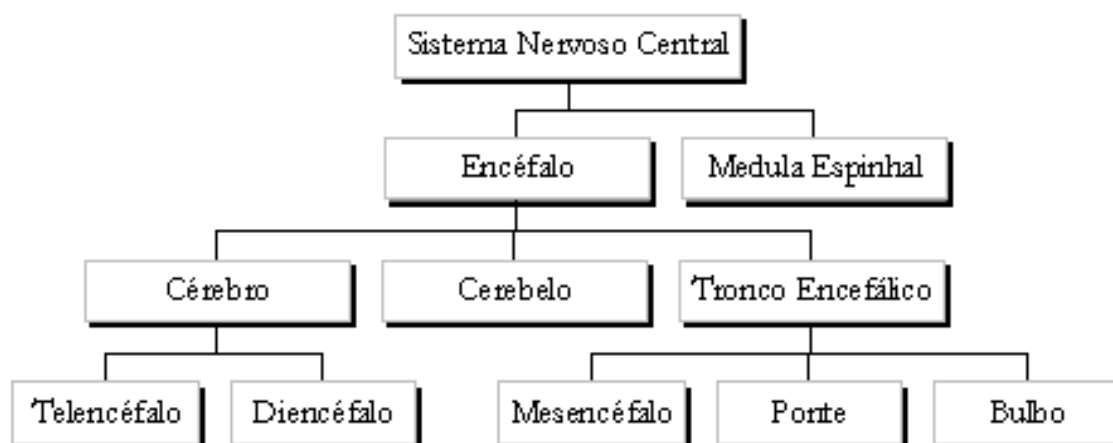


Figura 1 - Divisões do Sistema Nervoso Central

Fonte: Van de Graff K.(2003).

O cerebelo localiza-se na região posterior do encéfalo e é protegido, tal como o cérebro e a medula, pelas meninges. O cerebelo é dividido em dois

hemisférios separados pelo vermis. Entre este e o tronco cerebral, situa-se o 4º ventrículo ⁽³⁾.

O cérebro é responsável pelas funções motoras, cognitivas e é igualmente dividido por dois hemisférios. O cérebro possui diversos lobos, sendo o lobo frontal responsável pelo movimento, o parietal responsável pelas sensações somáticas, o occipital responsável pela visão, o temporal pela audição; memória aprendizagem e emoções ⁽²⁾.

O cérebro é igualmente dividido em dois hemisférios, sendo a parte esquerda do corpo controlada pelo hemisfério direito, e vice-versa ^(2,3).

A parte superior do hemisfério é ainda dividida em duas partes: anteriormente o lobo frontal e posteriormente pelo parietal ^(2,3).

O lobo frontal é responsável pelo pensamento abstracto, e acções de movimento. Nesta área encontra-se o córtex motor e o córtex pré-frontal, sendo este último responsável pelo lado criativo e abstracto bem como pelas respostas afectivas e emocionais.

O córtex pré-frontal encontra-se a representar funções de comportamento e memorização. Este participa em diversas funções tais como a memória e o comportamento.

O lobo temporal é responsável pela audição primária e, relaciona-se com a aprendizagem, memória e processamento da informação visual ⁽⁵⁾.

Por sua vez, o lobo parietal permite a recepção da informação sensorial, e é responsável pela percepção e orientação espacial e pela recepção de sensações. Por esta razão, este lobo passou a ser apelidado de córtex somatosensitivo primário. A região temporo-parietal tem influência na linguagem e na percepção espacial.

A área visual primária localiza-se no lobo occipital, que se encontra na porção posterior e inferior do hemisfério cerebral e é responsável pela visão ⁽⁵⁾. A área temporo-parieto-occipital funciona como o centro de recepção da informação destas três áreas. A figura 2 representa graficamente as estruturas anatómicas enunciadas.

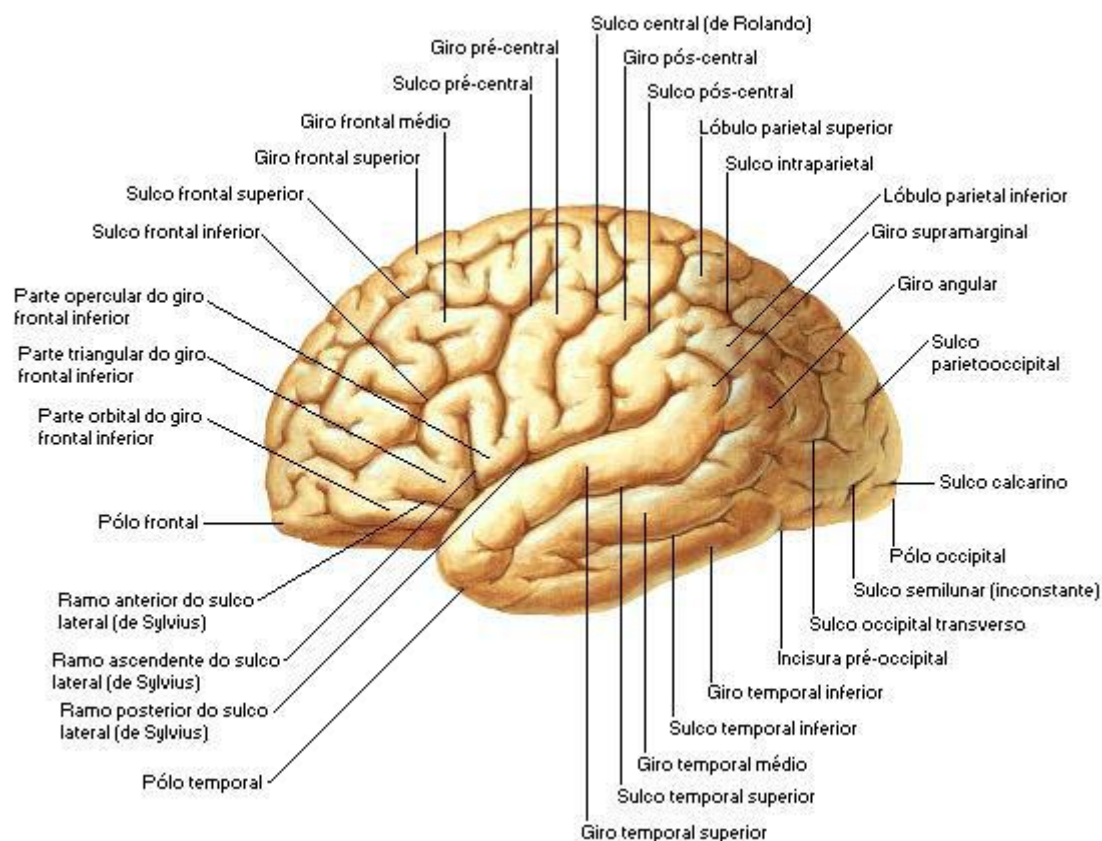


Figura 2 - Sulcos e Giros cerebrais

Fonte: Pereira JR., (2003)

Existem diversas tarefas que ativam a memória verbal e visual, correspondendo a regiões de ativação no lobo temporal esquerdo e direito respectivamente ^(9,10). Por sua vez, os lobos frontais relacionam-se com a memória episódica. A sua ativação é visualizada na memória de trabalho a nível do córtex pré-frontal.

Para uma correta identificação dos constituintes cerebrais ao longo deste estudo, é primordial conhecer detalhadamente os respectivos fundamentos anatómicos e funcionais, devido à sua estrutura tridimensional complexa e reconhecidamente variável.

Capítulo 2

RESSONÂNCIA MAGNÉTICA FUNCIONAL

As primeiras técnicas funcionais que caracterizam a função fisiológica por RM surgiram em 1991. Contudo, o termo funcional propriamente dito é associado ao efeito dependente do nível de **oxigenação** do sangue – BOLD - Blood Oxygenation Level Dependent ⁽⁹⁾ e foi aplicado apenas a uma técnica específica: a Ressonância Magnética Funcional.

O primeiro investigador a aperceber-se que as propriedades magnéticas do sangue causavam diferenças de sinal nas imagens de RM foi Ogawa. Estes estudos foram realizados em 1990, através de um equipamento de elevado campo magnético – 7 Tesla (T), que permitiu concluir a possibilidade de utilizar este mecanismo para visualizar a função cerebral em animais ^(5,9).

A desoxihemoglobina (DHg) possui propriedades magnéticas, que lhe permitem um efeito de susceptibilidade magnética em relação ao tecido circundante. Por sua vez, a oxihemoglobina (HbO₂) aumenta a sua concentração no sangue venoso no momento da respiração, através do aumento do fluxo e volume sanguíneo, passando a nulas as diferenças em relação ao meio circundante.

Tal como se pode visualizar na figura 3, o que se verifica na prática é um aumento da intensidade de sinal, nas zonas ativas, devido ao aumento do fluxo sanguíneo cerebral (CBF) e do volume sanguíneo cerebral (CBV) nas estruturas vasculares em estudo.

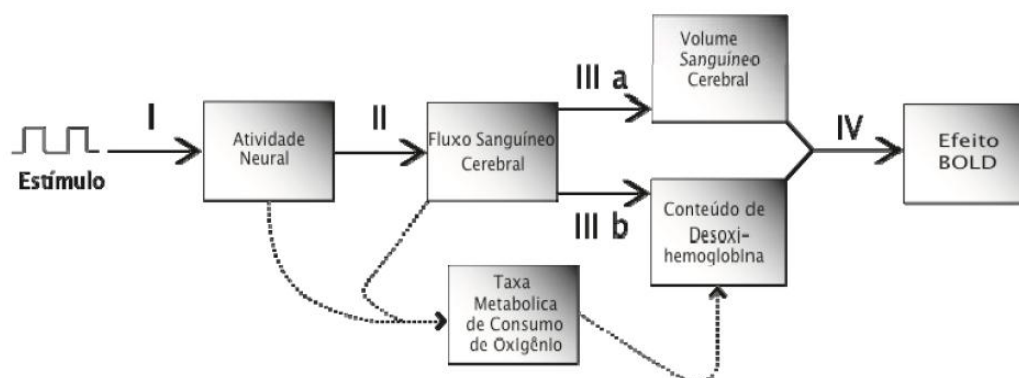


Figura 3 - Diagrama dos mecanismos do efeito BOLD.

Fonte: (Paulo, 2010)

Este processo traduz-se no decaimento da desoxihemoglobina durante a activação cerebral ⁽⁹⁾. Desta forma, o contraste entre os tecidos é traduzido pelo nível de concentração da desoxihemoglobina e por sua vez as alterações na oxigenação dependem do CBF e da taxa metabólica cerebral do oxigênio (CMRO₂) ⁽⁹⁾.

2.1 A resposta hemodinâmica e o efeito BOLD

Através da actividade metabólica e das alterações das propriedades magnéticas, é possível visualizar alterações do sinal devido ao efeito hemodinâmico ^(9,11). A actividade neuronal pode ser medida indirectamente e de forma não invasiva, através da RMf. Este método permite obter imagens das áreas corticais activadas, através da conhecida técnica BOLD ^(9,11).

Na prática, o que acontece, é que a área motora (por exemplo dos dedos dos pés) está em repouso quando o indivíduo não realiza qualquer movimento ⁽⁹⁾.

Em termos fisiológicos, no momento da actividade cerebral, os gradientes iónicos são restaurados de acordo com a necessidade energética neuronal, sustentados pelo aumento de consumo de Adenosina Trifosfato (ATP). Este é posteriormente convertido em Adenosina difosfato (ADP), através de uma reacção química que serve para equilibrar o consumo de

energia pelos neurónios. Por fim, o ADP é novamente convertido em ATP, sob o consumo de oxigénio, e as moléculas livres de ADP funcionam como vasodilatadores para os capilares adjacentes aos neurónios ^(9,11,12,13).

A importância deste tipo de alterações deve-se às características da hemoglobina, responsável pelo transporte e difusão do oxigénio a nível celular ^(11,13).

Ao atravessar os vasos capilares existe uma libertação de oxigénio pela oxihemoglobina ⁽¹¹⁾. De modo a suprimir esta deficiência momentânea de O₂, há uma reacção fisiológica através do aumento do fluxo e volume sanguíneo, resultando numa diminuição da DHg. São estas alterações na concentração destas moléculas, que conduzem às diferenças no contraste endógeno ^(9,11).

A restauração da molécula de ATP é conseguida pelo consumo de O₂, equilibrando deste modo a desoxigenação da hemoglobina, onde a HbO₂ diamagnética é transformada em Hb paramagnética ⁽⁹⁾.

Contudo, a quantidade de O₂ fornecida é maior que o consumo aumentando desta forma a diferença entre as concentrações de HbO₂ e a Hb.

Sendo assim, a redução de Hb (como reacção de “sobre compensação” ao consumo de O₂) torna o tempo T2* maior, levando a uma menor susceptibilidade e um sinal de RM maior, quando comparando a um estado de repouso (figura 4) ^(2,4,9).

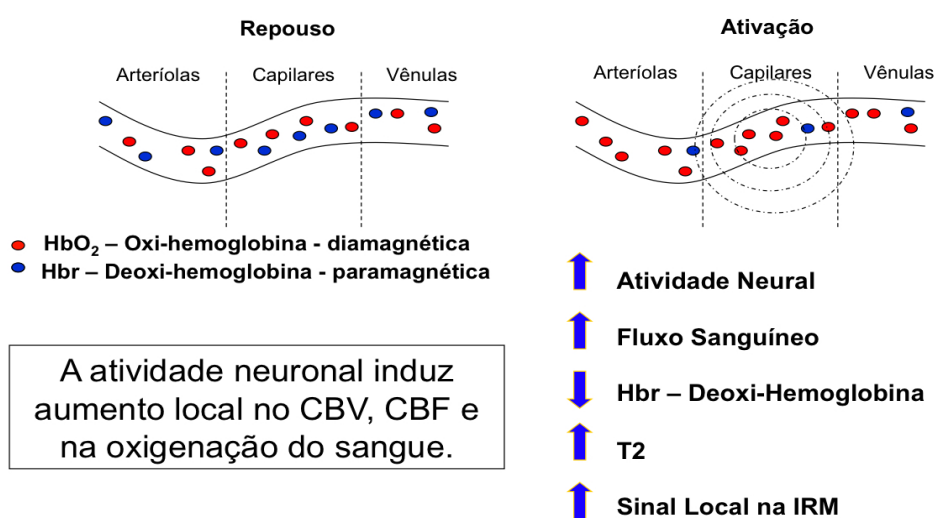


Figura 4 – Fatores que influenciam a alteração de sinal nas imagens de RM.

Fonte: Baert A.L, 2007.

O que acontece, é que os estímulos sensoriais ou as tarefas executadas pelos participantes, iniciam a actividade neuronal (I), o que influencia o aumento local do fluxo sanguíneo e do consumo de oxigénio (II).

O aumento do fluxo sanguíneo, relaciona-se com o aumento do volume sanguíneo local (III-a) e com o aumento da oxihemoglobina (III-b), o que influencia por sua vez, o aumento de oxigénio local.

De forma idêntica, também a desoxihemoglobina vê os seus valores aumentados, devido ao aumento do metabolismo oxidativo, proveniente da actividade neuronal.

Tendo em conta que o aumento do fluxo é maior que o consumo de oxigénio, há uma diminuição da desoxihemoglobina. Sendo assim, o conteúdo total de desoxihemoglobina e o volume sanguíneo local determinam o efeito BOLD (IV).

2.2 O efeito BOLD e o sinal em RMf

Em 1982 Thulborn et al, demonstraram que as mudanças no sinal relacionadas com a produção de estímulos cerebrais, permitiram antecipar a possibilidade de mapeamento cerebral ⁽²⁾. Deste modo, o tempo de relaxação de spin-spin $T2^*$ é alterado pelo contraste BOLD, devido às diferenças de propriedades magnéticas de HbO_2 e Hb ⁽⁹⁾.

É relevante saber sobre qual o tempo de eco (TE) que deve ser escolhido, para obter um contraste BOLD máximo. A figura 5 apresenta o sinal BOLD em função do TE para um valor $T2^*$ de 45ms (milissegundos). Quando se apresentam TE's curtos, o tempo não é suficiente para desfasar os spins, e por esta razão, o efeito visualizado é mínimo.

Pelo contrário, visualiza-se uma perda de sinal para TE's muito elevados, pois existe tempo suficiente para os spins desfasarem completamente. Deste modo, a figura 5 demonstra que o tempo ideal para

obter os melhores resultados, são aos 45ms, dependendo sempre este fator da intensidade do campo magnético ⁽¹⁰⁾.

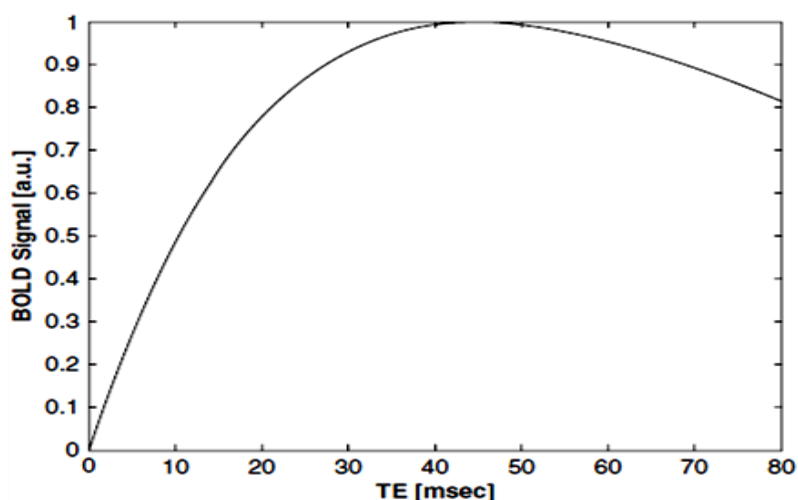


Figura 5 - Sensibilidade do efeito BOLD para TE num campo de 3T.

Fonte: Fernandes, Henrique (2007).

Infelizmente, existem perdas de sinal em determinadas áreas cerebrais onde o campo magnético é distorcido, devido à proximidade da região com as áreas que contêm ar, como é o caso das regiões orbito-frontais e temporais. No fundo, este facto deve-se às características da sequência GE já que estas estão sujeitas a elevadas alterações de homogeneidade de campo.

Isto significa que ao escolher o TE, deve-se ter em atenção que este deve ser o mais curto possível. É possível com um TE de 30ms, apesar de menos eficaz que o TE de 45ms, conseguir alcançar um sinal BOLD intenso. Este é inclusive, o valor aconselhado pelos estudos de RMf concretizados, em equipamentos de 3 Tesla ⁽¹⁰⁾.

Por sua vez, para campos magnéticos mais baixos, como é exemplo o campo de 1,5T, deve-se usar TE's um pouco mais elevados, rondando os 50ms, devido aos valores prolongados de T2* visíveis em campos de intensidade menor ⁽¹⁰⁾.

Ao aumentar a actividade elétrica neuronal, a resposta neurovascular é modelada e altera o sinal de RM, em função do tempo, traduzindo-se na

chamada função de resposta hemodinâmica (FRH), tal como se pode visualizar na figura 6.

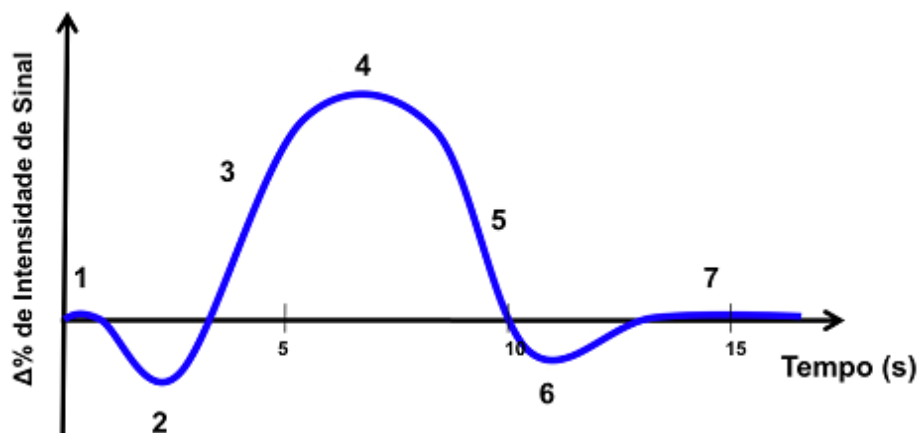


Figura 6 - Função da resposta hemodinâmica.

Fonte: Henrique, Fernandes (2007)

Esta apresenta uma queda inicial que traduz o aumento de Hb, aumentando intensamente de seguida. Este incremento, traduz-se pelo pico máximo do sinal BOLD, que se mantém enquanto o estímulo for conservado (durante determinado período de tempo).

Posteriormente o CBF e $CMRO_2$ alcançam os seus níveis basais em 10 segundos. Ao invés, as vénulas demoram mais tempo a atingir a sua dimensão inicial, o que permite uma acumulação de Hb e uma redução do sinal de RM abaixo do nível basal^(9,10).

O sinal BOLD pode ainda ser alterado, devido aos efeitos provocados pela linha de base do CBF e pela ligação nas alterações da CBF e $CMRO_2$ ⁽¹³⁾.

A linha de base da CBF e da $CMRO_2$ pode ser alterada recorrendo a medicamentos ou alterações fisiológicas decorrentes de processos patológicos⁽¹³⁾. Por sua vez a ligação do CBF e $CMRO_2$, colaboram de forma semelhante, para a obtenção do sinal BOLD, visto que o equilíbrio destas mudanças influencia os métodos de oxigenação do sangue ou dos tecidos. Desta forma, pode-se associar a actividade neuronal ao aumento do fluxo sanguíneo e ao metabolismo do oxigénio⁽¹³⁾.

2.3 Paradigmas

O paradigma define-se pelo conjunto de tarefas cognitivas que o indivíduo deve realizar no momento do exame. Existem três tipos de paradigmas: paradigmas em bloco; paradigmas contínuos e paradigmas evento-relacionados.

Segundo a literatura, os paradigmas em bloco são os mais utilizados. Estes são formados por períodos de repouso e períodos de atividade (figura 7).

A função da resposta hemodinâmica é essencial para modelar o tempo de transição entre ambos os períodos (atividade / repouso). O objetivo de alternar entre estes dois tipos de blocos, é dar origem à atividade neuronal que se pretende estudar.

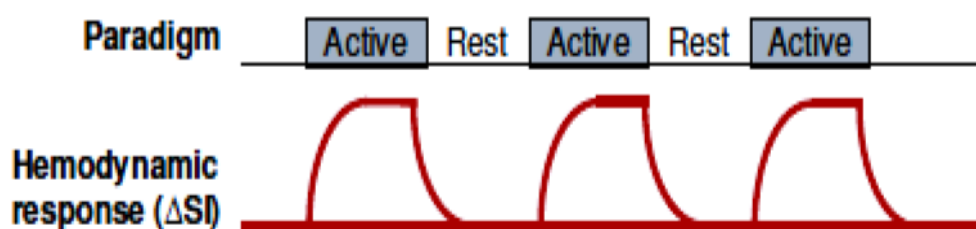


Figura 7 - Resposta hemodinâmica em função da activação ou ausência do paradigma

Fonte: Nunes, P.R (2012)

O intervalo de tempo em que o paciente realiza a tarefa é considerado um período de atividade e onde normalmente é apresentado um estímulo. Esta activação deve demorar o tempo suficiente, de modo a ter em conta o aumento do sinal da RMf logo após o início da tarefa.

O tempo necessário para detetar a máxima intensidade do sinal de RMf é de 8 segundos, sendo que, comumente, o habitual é esperar-se 16 segundos para atingir este objetivo. Este processo entre os dois períodos é

repetido várias vezes, de modo a comparar o sinal de RMf durante a ativação e o período de repouso.

Desta forma, o que se pretende, ao recorrer a este tipo de paradigma, é conservar a função BOLD no seu máximo e por um tempo considerável. Desta forma, consegue-se comparar e analisar de forma mais fidedigna os resultados obtidos.

Pelo contrário, os paradigmas contínuos pressupõe uma apresentação sucedida dos estímulos, enquanto que os paradigmas evento-relacionados possuem estímulos intercalados com períodos de repouso. Neste último caso, a duração dos estímulos, é inferior à duração dos períodos de repouso ⁽¹⁶⁾.

Pode-se afirmar que a interação entre as propriedades fisiológicas medidas e as limitações metodológicas determinam a escolha de um paradigma. É ainda essencial, que a aquisição de imagens seja realizada de forma contínua, enquanto o sujeito realiza determinada tarefa. O planeamento desta tarefa é fulcral para obter óptimos resultados ⁽¹⁶⁾.

Durante a realização de uma tarefa a atividade neuronal aumenta, e o aumento do sinal é detetado utilizando sequências ponderadas em T2*. É essencial frisar, que todo este processo tem início com a realização da tarefa por parte do participante e assim que a tarefa termina são desencadeados mecanismos que resultam no fim da actividade neuronal. Consequentemente, a perfusão volta aos valores iniciais (valores em repouso e a relação de oxigenação do sangue bem como o sinal de RM retorna ao normal).

A tarefa pode ser recetiva ou reativa, e está envolvida sempre que existem estudos que envolvam a RMf. O objetivo das tarefas é permitir o isolamento de um conjunto de funções neuronais ⁽¹⁶⁾.

Em RM funcional, o modo como se organizam as diferentes tarefas é designado por desenho experimental ou paradigma. Por sua vez, o estado de repouso é assumido quando nenhuma tarefa é realizada.

A título de curiosidade, existe ainda outro método para além do efeito BOLD que permite o estudo de perfusão, recorrendo às moléculas de água como marcador endógeno. Esta técnica é designada por Arterial Spin Labeling (ASL).⁽¹⁶⁾

2.4 Sequências Ultra-rápidas

A RMf tem-se desenvolvido desde as primeiras experiências “in vivo”, baseadas nos métodos de perfusão. Após este passo, no início da RMf, foi possível demonstrar que o contraste na imagem poderia também ser atingido através das técnicas de gradiente eco (GE) convencionais⁽³⁾.

As sequências GE utilizam um pulso de radiofrequência (RF) com um ângulo de nutação $< 90^\circ$ e não recorrem posteriormente a um pulso de 180° , o que permite obter um tempo de exame mais curto do que as sequências Spin Eco (SE).

As sequências GE também possibilitam a deteção do sinal relacionado com o efeito BOLD em áreas funcionais, como por exemplo, o córtex motor. No entanto, foram sendo substituídas ao longo do tempo devido ao (ainda) elevado tempo de aquisição e baixas taxas nos efeitos BOLD, causadas pelos velozes efeitos cognitivos e comportamentais⁽⁴⁾. O facto de não existir compensação para a susceptibilidade aos distúrbios das homogeneidades do campo magnético, apresenta-se igualmente como uma desvantagem.

Por estas razões, existiu a necessidade de se criar sequências de alta sensibilidade a variações de susceptibilidade magnética. Foi então que surgiram sequências eco Fast Low Angle Shot (FLASH) ou Imagem Eco Planar (EPI), muito sensíveis a variações de sinal $T2^*$ e essenciais para a aquisição de imagens em áreas corticais ativadas.

Adotando este método é possível obter sinal elevado através de uma diferença causada pelo sangue oxigenado e o sangue desoxigenado. A diminuição da Hb pode criar um campo magnético local mais homogéneo, que pode ser detetado através de um aumento no tempo $T2^*$ ⁽³⁾.

Em suma, pode-se afirmar que as sequências SE medem pequenos sinais a nível do parênquima cerebral, enquanto as sequências GE ultra-rápidas permitem alcançar com sucesso, o elevado sinal BOLD ⁽³⁾.

2.4.1 Imagem Eco Planar – EPI

As sequências EPI foram descritas em 1977 como uma técnica de aquisição de imagens com alto grau de rapidez. No entanto, em simultâneo à sua descoberta, Peter Mansfield relatou a necessidade de melhorar os sistemas de gradientes e radiofrequência.

Atualmente é possível adquirir imagens 2D com tempos de 50 a 100 ms ⁽⁵⁾. Sendo assim, a técnica EPI caracteriza-se por um método de imagem que preenche o espaço K de uma só vez. Apesar destas sequências utilizarem o mesmo mecanismo de formação que as sequências GE, são muito mais rápidas a preencherem todo o espaço K, permitindo uma redução significativa do tempo de exame ⁽⁵⁾.

Um par de gradientes é aplicado na direção de fase e de frequência, de modo a introduzir uma sequência de pulsos EPI e preencher a primeira linha de amostragem do espaço K.

De seguida, para gerar o eco, é aplicado um gradiente oscilatório, aplicado na direção de codificação de frequência.

É dado um pulso de excitação e posteriormente um pulso de 180°, de modo a ligar os gradientes bipolares de leitura, para obter um trem de ecos.

Ao aplicar-se o gradiente codificador de fase, cada eco é colocado e armazenado numa linha do espaço K. Se a aquisição de todo o espaço K for adquirida num único TR, a aquisição EPI é designada por *single shot* (“tiro único”) ⁽⁵⁾.

Os ecos são registados de uma linha para a outra, no sentido da fase, de modo a permitir que os dois tipos de gradientes formem uma trajetória em “zigue-zague”, até que todo o espaço K seja preenchido ^(4,5).

É importante ter em atenção que o eco considerado para calcular o TE, é aquele que coincide com o centro do espaço K (apesar de cada gradiente formar o seu próprio eco) ⁽⁴⁾.

Durante a aquisição de imagens cada amostra do espaço K é atenuada pelo decaimento do sinal. A quantidade de sinal perdida para o relaxamento T2* no momento em que passa pelo centro do espaço K, vai influenciar a diminuição do sinal. Deste modo, pode-se concluir que o que define a perda global do sinal de RM é o TE_{ef} (TE efetivo) atribuído ao tempo do primeiro eco ⁽⁴⁾.

A amostragem de todo o espaço K é adquirida através de uma “*single acquisition window*” e o decaimento T2* pode causar uma diferença considerável entre a magnitude de amostras de sinal, adquiridas na fase inicial e final da janela de aquisição ⁽⁴⁾.

Deste modo, o contraste da imagem é influenciado pelas linhas de Fourier que são adquiridas durante o tempo TE ⁽³⁾. As elevadas frequências espaciais são atribuídas à periferia da janela de aquisição, referida anteriormente, de modo a que todo o preenchimento do espaço K seja realizado em “zigue-zague”.

A forma como os gradientes de codificação de fase e de frequência são aplicados marcam a diferença entre as sequências de pulsos EPI e as sequências GRE e SE ⁽⁵⁾. A sequência de pulsos EPI exige gradientes de elevado desempenho e extremamente rápidos, de modo a que as linhas do espaço K sejam preenchidas resultando numa boa qualidade de imagem. Este processo tem como resultado uma série de gradientes de eco com a duração de apenas um decaimento T2*, de modo a obter uma rápida amostragem ^(4,5).

As desvantagens das sequências EPI baseiam-se na enorme tendência para criar distorções na imagem, e por consequência, criam artefactos de susceptibilidade, que ocorrem normalmente junto à periferia da área em estudo ⁽⁵⁾. Estas sequências são essenciais para obter imagens funcionais, sendo necessário proceder à correção das distorções da imagem, de modo a conseguir-se uma relação adequada entre as áreas corticais ativas e a anatomia correspondente ⁽³⁾.

Neste tipo de sequências, normalmente utiliza-se uma maior espessura de corte devido à RSR mais reduzida ⁽³⁾.

Os tempos de aquisição são muito diminuídos, cerca de 200-300 ms por imagem, devido à utilização de gradientes de elevada potência. É possível ainda utilizar uma matriz de 128 x 128, com uma resolução espacial de 1,2 milímetros e uma espessura de corte cerca de 5 mm ⁽³⁾.

Outra forma de reduzir os artefactos de distorção da imagem, desvio químico e perda de sinal, passa por aumentar o fator turbo. Este define-se pelo número de ecos após cada excitação. É preciso ter em atenção, pois quanto maior for o fator turbo, menor é o espaçamento entre os ecos (ESP) que se encontra diretamente relacionado com a qualidade da imagem ⁽⁵⁾.

2.4.2 Sequências Gradiente Eco EPI – GE EPI

As imagens mais comuns com aplicações de neuro imagem funcional têm por base as sequências GE EPI 2D.

Devido ao decaimento irreversível da magnetização transversa durante a aquisição de imagens, é inevitável que haja uma certa quantidade de ponderação T2, sendo que o sinal originado pela RM tem características bastante acentuadas de T2*.

A sensibilidade no mecanismo de aquisição de sequências em relação à susceptibilidade de campo locais, faz com que exista uma grande prevalência do componente T2* ^(4,5).

Deste modo, são gerados uma série de ecos de gradiente através dos gradientes de codificação de fase, após um pulso inicial de excitação de 90° de modo a originar o FID (Decaimento de Indução Livre) ⁽⁵⁾. Neste tipo de sequências pode-se utilizar um ângulo de nutação (FA) baixo sem ter uma significativa perda de sinal (à semelhança das sequências GE primitivas), o que permite igualmente diminuir o TR, tornando menor também o tempo necessário para restabelecer o relaxamento longitudinal.

Contudo, no mesmo período TR, pode-se conseguir cobrir um maior número de cortes. O ângulo Ernst é o FA no qual o eco atinge o seu máximo sinal, podendo ser calculado de modo a obter um melhor contraste da sequência ⁽⁴⁾. Contudo, existe a desvantagem já referida em relação aos artefactos de susceptibilidade.

Com este tipo de sequência (EPI-GRE) consegue-se obter 10 a 20 cortes com espessuras de 3 a 10 mm, que “varrem” todo o cérebro em cerca de 1,5 a 4 segundos. Na prática isto significa que caso o TR seja de 1500 ms, podem-se obter 20 imagens na condição de repouso, e 20 imagens em ativação cerebral, com utilização de paradigmas em bloco, utilizando-se, normalmente, uma matriz de 64 x 64.

2.4.3 GE FLASH – Fast Low Angle Shot

Tal como os outros tipos de sequências, também estas possuem as suas vantagens como por exemplo: a elevada RSR e elevada resolução espacial.

Porém, este tipo de sequência não é mais utilizada devido à aquisição ser realizada em poucos segundos, o que limita a resolução temporal do efeito BOLD, prejudicando a resolução necessária entre a fase ativa e inativa do mapeamento cerebral.

A solução a este problema passa por fazer uma observação exata das imagens pré-processadas, para visualizar se existe ou não, a presença do sinal BOLD na região em causa. Outra forma de solucionar esta desvantagem, é criar um mapa de campo B0 (normalmente criado automaticamente). Este permite visualizar os artefactos e “camuflar” as áreas funcionais ativadas. Neste mapa existem dois exames diferentes com TE’s diferentes, combinados para dar uma medida do decaimento T2* local, permitindo deste modo identificar as áreas com elevada susceptibilidade ^(3,5).

Esta técnica é muito insensível a distorções de imagem, permitindo obter uma boa relação morfológica e uma óptima representação das áreas activas ⁽³⁾.

2.5 Preparação para um Exame de RMf

Normalmente, a ansiedade está presente nos doentes que se preparam para realizar os exames de RMf. É necessário existir uma familiarização prévia, de modo a obter uma explicação sobre o exame a que vão ser submetidos e a natureza da tarefa a realizar.

Estas tarefas essenciais para a realização da RMf podem ser de difícil interpretação por parte das pessoas com alguma idade, sendo imprescindível uma preparação cuidadosa, que resultará num mapa de RMf mais preciso e confiável.

Curiosamente, doentes que possuem deficiência, podem igualmente realizar este tipo de tarefas, devendo no entanto modificar-se o paradigma, de modo a que este possa refletir as capacidades do paciente ^(4,17). Sempre que seja possível deve realizar-se um ensaio prévio do paradigma em questão ⁽¹⁷⁾.

Ao realizar esta preparação prévia do paciente, a probabilidade de se conseguir um exame sem artefactos de movimento aumenta. Existem ainda equipamentos de RM que permitem a utilização de auscultadores, para que o paciente possa beneficiar da comunicação e de instruções durante o período do exame ⁽¹⁷⁾.

Outros problemas que podem existir por parte do paciente são: dificuldade auditiva; dificuldade visual; dificuldade de acompanhar as instruções fornecidas e dificuldades no discurso. Qualquer um destes obstáculos pode interromper ou prejudicar a aquisição, devido à perda de estímulos e à frustração do próprio paciente.

Atualmente, com o auxílio de sofisticados algoritmos de correção de movimento e da imobilização do paciente com fixadores apropriados, o uso de paradigmas com discurso vocalizado tornou-se possível em RMf.

A resposta hemodinâmica neste tipo de paradigma, é um pouco mais demorada após um evento neuronal, o que beneficia a sua análise estatística ^(4, 17, 18, 19).

Em suma, pode-se afirmar que uma preparação apropriada do paciente e indicações congruentes ⁽⁴⁾ são essenciais para garantir a compreensão e cumprimento da tarefa por parte do mesmo ⁽¹⁸⁾.

2.5.1 Aquisição das imagens

Normalmente, um exame de RMf pode-se dividir em duas partes, sendo que a primeira consiste em adquirir as imagens funcionais que dão origem aos mapas estatísticos de atividade cerebral, após a análise de todas as séries temporais incluídas em cada vóxel ⁽¹⁵⁾.

Este conjunto de imagens é obtido normalmente através da sequência EPI, de modo a cobrir toda a região cerebral (figura 8). Desta forma, quanto maior for o número de aquisições, maior será a RSR, na medida em que diminui o ruído e artefactos (movimento) da imagem ⁽¹⁵⁾.

Posteriormente, é adquirido um segundo conjunto de imagens com uma resolução espacial mais elevada, com vóxeis de cerca de 1mm^3 (milímetro), fundamentais para a apresentação dos mapas estatísticos ⁽¹⁵⁾. A desvantagem deste tipo de aquisição, é que a resolução temporal que se obtém sacrificando a espacial.

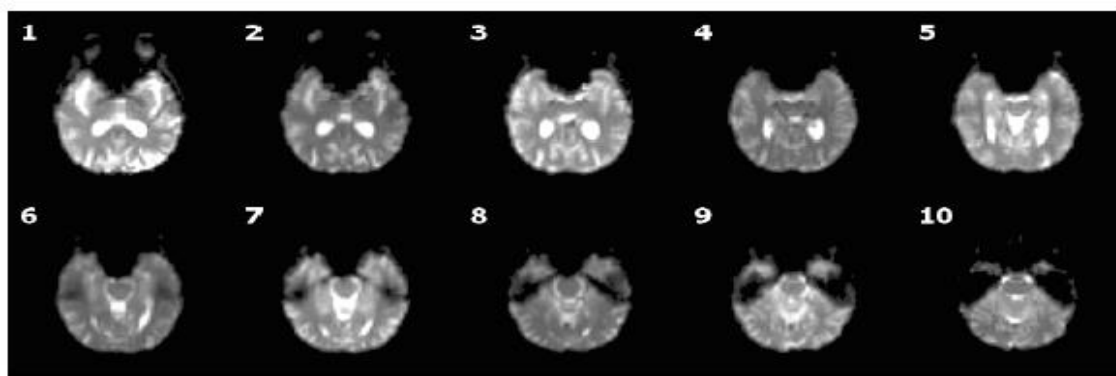


Figura 8 - Imagens cerebrais adquiridas pela sequência EPI.

Fonte: (Aten et al., 2009)

Para avaliar a função cerebral, o sujeito deve realizar tarefas interessantes como por exemplo, abrir e fechar a mão para mapear a função motora (figura 9). Outro exemplo, é o mapeamento de funções cognitivas, que utiliza desenhos experimentais e protocolos de estimulação, que avaliam respostas hemodinâmicas de sistemas neuronais mais complexos⁽¹⁵⁾.

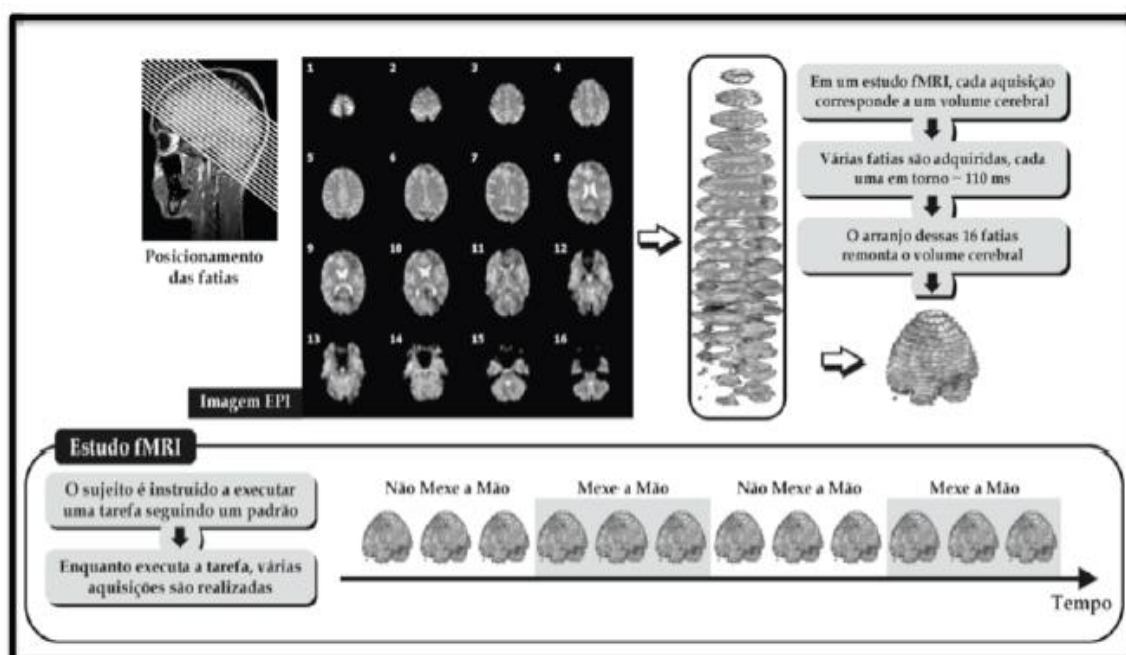


Figura 9 - Estudo experimental por RMf utilizando uma tarefa motora.

Fonte: Aten, E. P, et al. (2009)

A análise de imagens pode ser influenciada negativamente devido a factores como: baixa relação sinal-ruído; artefactos de movimento; ruído e variabilidade anatómica entre os diferentes participantes ⁽¹⁵⁾.

Para o sucesso do estudo, é fundamental que o protocolo experimental seja meticulosamente desenhado e as ferramentas do pré-processamento correctamente utilizadas ⁽¹⁵⁾.

Desenho Experimental

O estudo deve ser planeado previamente, antes do participante entrar na RM. Geralmente o protocolo experimental utiliza o desenho em bloco ou o evento-relacionado, como se pode verificar na figura 10 ⁽¹⁵⁾.

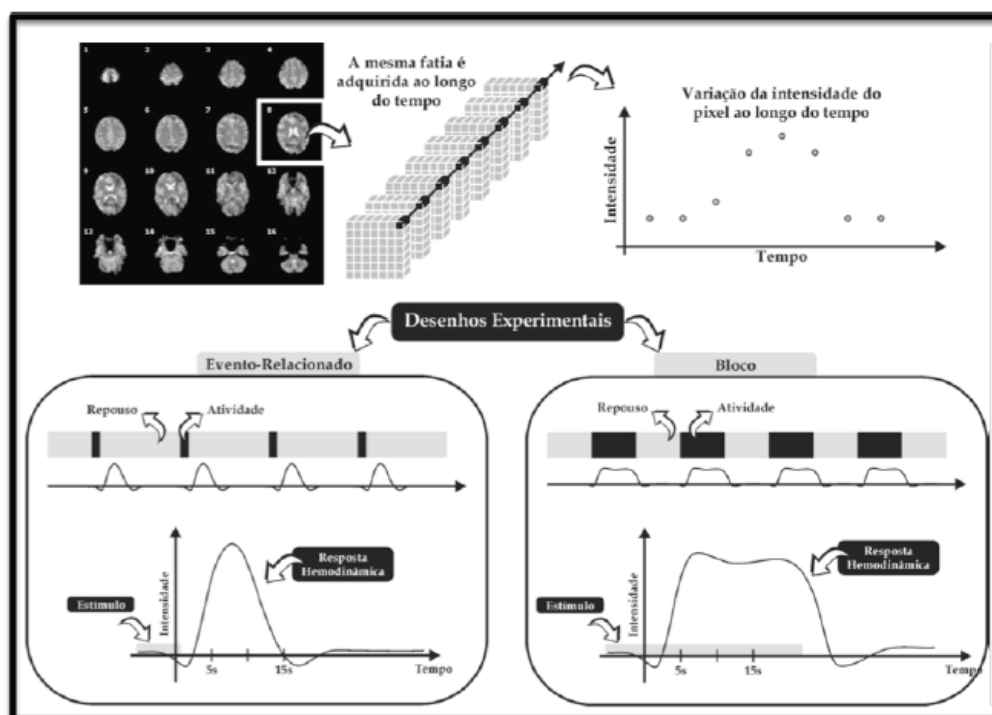


Figura 10 - Desenhos experimentais típicos que incluem desde a apresentação do estímulo até ao método de análise utilizado.

Fonte: Aten, E. P., et al. (2009)

Capítulo 3

ANÁLISE DE DADOS E PÓS-PROCESSAMENTO

Depois de realizado o exame de RMf, os dados são analisados recorrendo a um *software* adequado, que permite o tratamento estatístico de modo a detetar e quantificar as diferentes áreas funcionais ativas.

Os cortes adquiridos são reunidos num volume ou de modo a formar uma imagem 3D funcional. Por serem adquiridos em tempos diferentes, os cortes de um volume funcional não são guardados ao mesmo tempo, o que resulta numa diferente localização dos dados das regiões cerebrais e por consequência um armazenamento em diferentes momentos.⁽¹⁹⁾

Para ser avaliado como curto, o estudo deve ter cerca de 100 a 1000 volumes funcionais⁽¹⁹⁾. O pré-processamento espacial; temporal; a normalização espacial; a análise estatística de dados e o co-registo de dados anatómicos e funcionais, fazem parte dos principais processos de análise funcional e de dados anatómicos.

Na maioria dos equipamentos, as etapas de análise de dados são realizadas de forma *strandart* pelo próprio equipamento, apesar da existência de diversos programas livres ou comerciais para o processamento de imagens de RMf. Exemplos deste tipo de programas são o AFNI (**A**nalysis of **F**unctional **N**euro**I**mage), FSL (**F**MRIB **S**oftware **L**ibrary) e SPM (**S**tatistical **P**arametric **M**apping)^(5,19).

Para calcular os mapas estatísticos paramétricos recorre-se a métodos de subtração, ou seja, métodos estatísticos que medem as condições estimuladas e não estimuladas, baseando-se em séries alternadas de imagens⁽¹⁷⁾.

Os equipamentos vêm igualmente acoplados com programas comerciais que permitem a análise durante ou após a execução do exame, podendo ser instalado no próprio equipamento, ou em outras estações de trabalho ⁽⁵⁾.

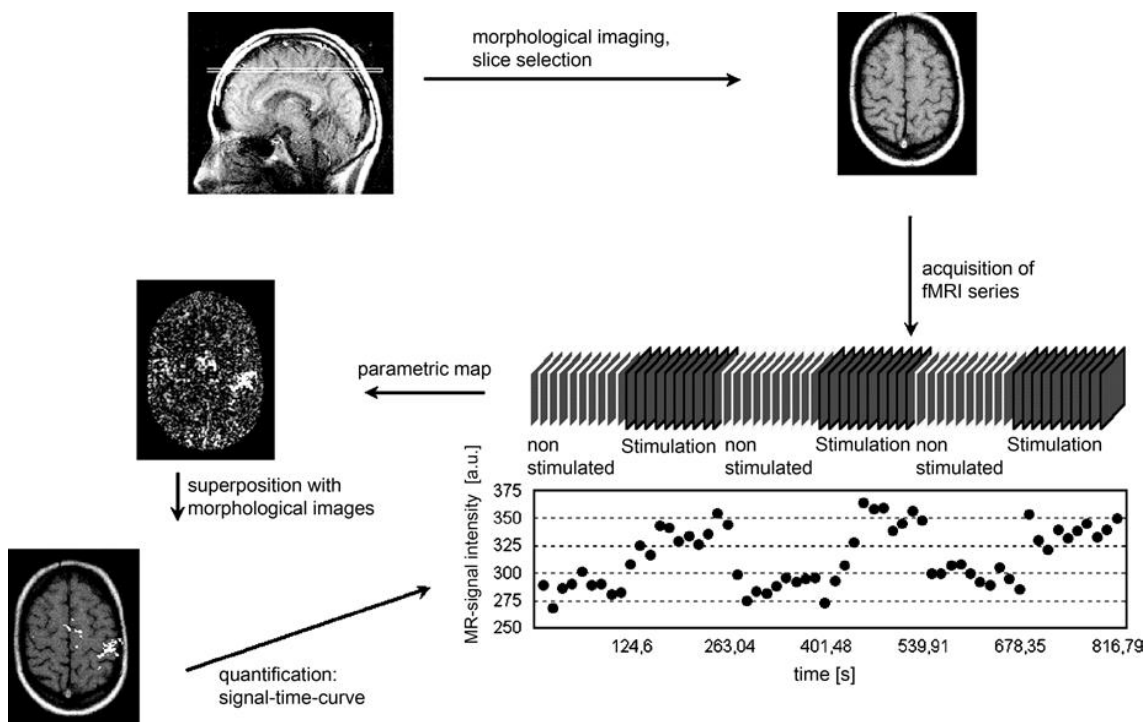


Figura 11 - Aquisição e avaliação de dados de RMf.

Fonte: (Reiser MF, 2008)

Ao visualizar a figura 11, pode-se verificar que após ser localizada a região anatômica a ser estimulada, inicia-se a aquisição de dados funcionais. Posteriormente, é possível visualizar séries alternadas de estimulação e de repouso. As imagens onde existem áreas corticais ativas estão realçadas. A evolução temporal de fases de estimulação e de não estimulação, são refletidas através da intensidade de sinal ⁽¹⁷⁾.

3.1 Pré-processamento da Informação Funcional

O objetivo da análise dos dados funcionais é conquistar uma imagem com melhor qualidade. Para tal, é importante reduzir o ruído que está relacionado com os componentes do sinal e otimizar os dados antes de proceder à sua análise.

O ajuste da intensidade média entre as diferentes imagens funcionais; a correção de artefactos de movimento; a correção de dados através de filtros de *smoothing* espacial e temporal são algumas das operações matemáticas normalmente aplicadas, previamente à análise ⁽⁵⁾.

3.1.1 Deteção e correcção dos movimentos de cabeça

No caso de serem detetados movimentos da cabeça iguais ou superiores a 5 milímetros, procede-se à minimização dos mesmos através da análise dos dados. Apesar de ser possível proceder à sua correção, a verdade é que os movimentos resultantes da alteração do posicionamento da cabeça reduzem a homogeneidade do campo magnético.

Para corrigir o movimento, seleciona-se um volume funcional (informação adquirida num determinado ponto no tempo) de uma sequência para ser tida como referência. Posteriormente, todas as outras repetições funcionais alinham-se consoante esta.

Esta imagem (figura 12) foi adquirida durante uma tarefa motora bilateral. A mudança de sinal média percentual no córtex primário foi de 3%.

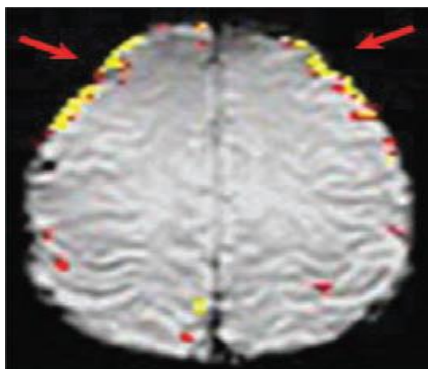


Figura 12 - Pixels ativos devido ao movimento na região frontal – Falsos-positivos.

Fonte: Edelman, Robert (2005)

3.1.2 Correção temporal dos cortes de aquisição

Os cortes de um volume funcional são adquiridos em medições funcionais *strandart* (EPI) com uma distribuição no tempo de um volume funcional. Quando o TR é de 3000 ms, a informação do último corte é obtida 3 segundos após o primeiro corte.

Apesar da resposta hemodinâmica ser mais demorada, o tempo na ordem dos 3 segundos levará a uma análise estatística sub-ótima. Deste modo, é essencial que a informação seja processada como se todos os cortes de um volume funcional fossem medidos no mesmo instante.

Nestas circunstâncias, é possível comparar e integrar as respostas dos paradigmas evento-relacionados de regiões cerebrais distintas em relação aos parâmetros temporais, como é o caso do período inicial de latência.

3.1.3 Remoção de Flutuações e Smoothing temporal

É frequente que devido às oscilações no sinal e no ruído, os tempos de curso de vóxeis se apresentem não-estacionários.

Através de um filtro temporal *high-pass* presente na análise de Fourier, é possível remover as pequenas oscilações que apresentam alterações de sinal.

Neste tipo de frequência, as flutuações podem ser prontamente extraídas, devido aos componentes de baixa frequência, isolando-se de componentes com características contrárias.

O *smoothing* temporal, permite igualmente remover flutuações de sinal com elevada frequência, ou seja, permite a eliminação do ruído, ampliando desta forma a RSR. Este passo do pré-processamento temporal não é aconselhado no caso de paradigmas evento-relacionados, pois podem distorcer as estimativas dos parâmetros temporais importantes.

3.1.4 Smoothing Espacial

Normalmente os dados são tratados com um filtro de smoothing de modo a melhorar a RSR. Para tal, calcula-se o valor médio dos vóxeis vizinhos e atribui-se esse valor a cada um dos vóxeis incluídos no processo. Este processo utiliza ainda um algoritmo 3D Gaussian, cuja forma e largura permite determinar as ponderações utilizadas, para incluir os vóxeis na média.

Existem estudos ⁽²²⁾ que afirmam que este filtro espacial associada a um algoritmo apropriado e de largura superior a 4 a 8 mm, permite aumentar o sinal da região ativada e diminuir o ruído.

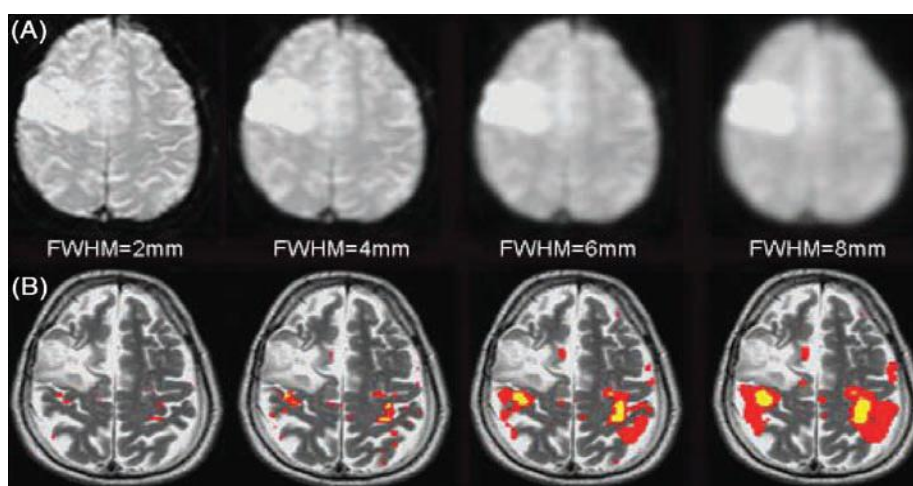


Figura 13 – O smoothing espacial diminui a resolução espacial, reduzindo a magnitude do sinal BOLD.

Fonte: Edelman, Robert (2005).

Na primeira série de imagens, visualiza-se o efeito da imagem T2*. As imagens seguintes demonstram a actividade funcional, sobrepostas a imagens T2, durante a fricção dos dedos. O smoothing espacial demonstra a resolução espacial reduzida e diminui a magnitude do sinal BOLD ⁽²²⁾.

3.1.5 Correção de distorção das imagens funcionais

O facto do cérebro humano possuir regiões com diferentes tipos de tecidos, como o caso das regiões onde se situa o LCR, pode originar artefactos de susceptibilidade. Deste modo, apesar da rapidez característica da sequência GE EPI, as suas imagens podem ter uma diminuição no sinal e apresentar distorções geométricas que podem ser melhoradas através dos mapas de campo.

Estes permitem a medição do campo magnético, o que permite obter uma melhor localização da função cerebral, bem como obter melhores resultados entre as informações anatómicas e funcionais.

3.2 Integração da informação anatómica e funcional

Os programas de elevada resolução temporal em 3D, permitem visualizar as informações funcionais com detalhe anatómico necessário para localizar de forma precisa as áreas ativas.

Para isto, é necessário que a informação de alta resolução seja gravada e a informação funcional seja co-registada à informação 3D. Para a aquisição de dados anatómicos, são utilizadas sequências T1 mais lentas mas com elevada resolução, essenciais para a normalizações cerebrais.

3.2.1 Coregisto de informações anatómicas e funcionais

As imagens funcionais devem ser sobrepostas às imagens co-planares com o objetivo de dispensar as transformações espaciais (translações e rotações) que são necessárias para alinhar as duas informações. Se este passo não ocorrer, as informações permanecem desalinhadas e a informação resultante não é fidedigna para análise.

Capítulo 4

RESSONÂNCIA MAGNÉTICA FUNCIONAL APLICADA À DETEÇÃO DA MENTIRA

Ao longo do tempo a RM tem evoluído de forma veloz e eficaz, o que permitiu desenvolver diversos estudos para conhecer de forma mais profunda os segredos da mente humana. São vários os estudos^(5,9,17,18) que contribuíram para tudo o que se sabe atualmente, em relação à RMf e ao efeito BOLD.

Em 1996 Frahm et al, realizaram medições de glicose, lactato e oxigenação sanguínea, no decorrer da atividade cerebral, recorrendo a técnicas de RMf.

Dois anos depois, Mandeville et al (1998) injetaram contraste em ratos e utilizaram a RMf para observar o comportamento do volume sanguíneo após o estímulo. Estes autores concluíram que a diminuição do volume sanguíneo está relacionada com o *undershoot* do efeito BOLD.

Pelo contrário, em 2008, Frahm et al não constataram esta relação entre o volume sanguíneo e o *undershoot*. Estes investigadores observaram através da ASL, que a curva do rCBV é idêntica no córtex motor primário e na área suplementar motora, o que não acontece na curva BOLD.

Zhao et al observaram o comportamento das camadas corticais e afirmaram que a variação de rCMRO₂ está presente na criação do *undershoot*. Em 2008 Harshbarger e Song, estudaram a origem hemodinâmica ou neuronal do *undershoot*, recorrendo ao coeficiente de difusão⁽¹⁶⁾.

Com o desenvolvimento da RMf, esta começou a ser utilizada para mapear as zonas cerebrais, associadas ao engano. É nesta altura que surge um estudo envolvendo 22 participantes, com o intuito de detetar a mentira. Os resultados demonstraram que 99% das respostas verdadeiras e falsas foram discriminadas corretamente⁽²³⁾.

Kozel et al, defendem que para se conseguir uma aplicação relevante nos estudos da deteção da mentira, é necessário discriminar claramente a mentira e a verdade a nível individual e não apenas em análises de grupo, de modo a entender os circuitos individuais que estão subjacentes à mentira ⁽²³⁾.

Existem já vários centros de investigação, empresas e faculdades a investigar a atividade cerebral e a tentar correlacioná-la com a mentira ⁽²⁴⁾. Apesar de serem reconhecidos os benefícios desta tecnologia em tribunais, questões éticas e morais também são colocadas.

É necessário ter em conta que esta tecnologia não tem como intuito invadir a intimidade das pessoas, mas sim ajudar na resolução de situações legais e aplicar a justiça, de modo a podermos viver num Mundo mais seguro ⁽²⁴⁾.

O único objetivo seria conseguir “ler” a mente humana, de modo a conseguir aperfeiçoar aspetos sociais e morais, lesando os criminosos e melhorando a cooperação humana ⁽¹⁾.

Existe ainda o medo inerente à invasão da privacidade e o uso indevido por parte de empresas que queiram contratar trabalhadores, podendo excluí-los consoante os resultados da leitura das suas mentes ⁽²⁴⁾.

Em resposta a estas preocupações, nos EUA (Estados Unidos da América) a sociedade de proteção dos funcionários sujeitos ao polígrafo proibiu que os empregadores obrigassem os empregados a submeterem-se a estes testes ou qualquer outro dispositivo similar, com a finalidade de descobrir informações sobre a sua honestidade.

É ainda incógnito, se a sociedade de proteção aos funcionários será aplicável também à RMf. Contudo, é certo que haverá informação que terá de ser regulamentada quando usada em contexto não clínico, de forma a não existirem abusos no poder da informação gerada por esta tecnologia ⁽²⁴⁾.

Até à data, os estudos para detetar a mentira através da RMf têm recorrido a indivíduos colaborante e cooperativos, sem riscos de irem presos

durante um longo período de tempo. Em indivíduos que recusam a submissão à RMf, é muito difícil realizar este estudo, pois eles podem comprometer os resultados⁽²⁴⁾.

Estes estudos são muito sensíveis ao movimento e à obtenção de resultados confiáveis em indivíduo que realizam o teste contra a sua vontade. É preciso ter em conta que esta tecnologia ainda não é 100% precisa, e portanto, os resultados devem ser cuidadosamente analisados de modo a não cometer erros involuntários⁽²⁴⁾.

Apesar de não existirem taxas de erro quantificáveis, existem taxas de erros que se baseiam nas circunstâncias e dados existentes dos estudos já realizados por RMf em contextos controlados (e não em situações de Mundo real)⁽¹⁾.

Em suma, pode-se afirmar que hoje a tecnologia existe para ler a mente e apesar deste conceito ter a capacidade de intimidar a maioria das pessoas, é uma afirmação que pode ser considerada verdadeira⁽²⁴⁾.

4.1 Polígrafo

Em 1990 a precisão do polígrafo foi considerada em 60%, ou seja, um pouco superior à probabilidade de uma pessoa adivinhar a resposta.⁽²⁶⁾ Em 2003, a Academia Nacional de Ciências, publicou um relatório que afirmava categoricamente, que o teste de polígrafo não deveria ser utilizado⁽²⁶⁾.

Acredita-se que é possível induzir uma resposta fisiológica falsa de modo a criar um falso sinal, pondo em causa a credibilidade do polígrafo⁽²⁵⁾.

A RMf aplicada à deteção da mentira permite medir de forma indireta a atividade neuronal, contrastando deste modo com o polígrafo que perde “terreno” ao medir apenas alterações do sistema nervoso simpático⁽²⁵⁾.

Outro inconveniente dos testes do polígrafo é a duração entre 15 minutos e uma hora. Após 15 minutos, a circulação sanguínea é interrompida devido à pressão causada pela braçadeira de monitorização, obrigando à remoção da mesma ⁽²⁶⁾.

Segundo alguns autores⁽¹⁾, o polígrafo proporciona mais situações conflituosas se for usado em tribunais, do que as vantagens que proporciona. Apesar de durante muito tempo os tribunais e a comunidade estarem interessados nos resultados do polígrafo, este nunca teve uma verdadeira utilização devido à falta de credibilidade e fiabilidade⁽¹⁾.

Nos EUA (Estados Unidos da América) é legal a utilização de detetores de mentira, sendo o polígrafo o mais utilizado. Este equipamento é usado milhares de vezes por semana, em sessões de segurança e em investigações. No entanto, o governo federal dos empregados, proíbe a sua utilização por empresas que pretendem recrutar trabalhadores de forma a protegê-los ⁽¹⁾.

No que diz respeito aos artigos científicos publicados, o polígrafo lidera o topo de publicações e apesar de ser utilizado a nível civil e governamental nos EUA, continua a ser criticado a nível jurídico e sobretudo científico ⁽¹⁾.

Apesar dos neurocientistas e neuropsicólogos serem confrontados com as dificuldades inerentes à utilização da RMf, o maior problema está na área dos juízes e advogados. Isto porque estes não estão conscientes de toda a evolução e limitação desta técnica ⁽⁸⁾. Outro dos motivos pelo qual é provável que os juízes não vejam esta nova tecnologia como favorável prende-se com o receio que possuem em ver o seu papel (validar os testemunhos dos depoimentos) em tribunal diminuído.

Existem diversos tipos de perguntas utilizadas pelos polígrafos⁽¹⁾: irrelevantes (e.g: “Hoje é terça-feira?”) e de mentiras prováveis: (e.g: “Já alguma roubou algo?”). Nesta última pergunta existe a tentação de negar, mas é improvável que seja verdade⁽¹⁾.

Existem ainda 3 tipos de técnicas usadas para as perguntas do polígrafo:

- ✓ Técnica Relevante / Irrelevante: (comparação entre as alterações que ocorrem com uma pergunta importante e com uma pergunta sem qualquer importância).
- ✓ Técnica da pergunta controlada (é a mais comum): Usa uma pergunta irrelevante para gerar uma resposta fisiológica ainda maior.
- ✓ Técnica que usa uma pergunta de controlo, de modo a comparar as características da resposta a esta pergunta, com as características das respostas de perguntas anteriores.

No entanto, nem todos se podem submeter aos testes do polígrafo, como por exemplo os indivíduos que consomem drogas ⁽¹⁾. Este facto pode ser justificado, pois o consumo de oxigénio pode ser afetado pelas alterações que ocorrem com a introdução de drogas no organismo ⁽²⁴⁾.

4.2 Diferentes métodos para detetar a mentira

Existem outros métodos que permitem a medição de sinais cerebrais e não respostas fisiológicas. Um dos dispositivos que o permite fazer é o **electroencefalograma** (EEG) que através da onda P300, permite detetar a atividade elétrica cerebral. Este sinal é detetado 300 milissegundos após o estímulo e se estiver presente indica que a pessoa o reconheceu ⁽¹⁾.

O sinal do EEG gravado em cada elétrodo, reflete uma espécie de média de todas as respostas elétricas de um elevado número de neurónios, por toda a região cerebral. Isto implica que se existir um grande número de áreas cerebrais ativas em simultâneo, pode provocar uma confusão acerca da origem do sinal ⁽²³⁾.

A título de curiosidade, sabe-se que a Índia, foi o primeiro país a condenar alguém, por um crime com base em evidências neurocientíficas. As suspeitas recaíram sobre uma mulher acusada de matar o seu ex-noivo, através do envenenamento da comida. Para provar os acontecimentos, os investigadores colocaram 32 elétrodos no crânio da suspeita, e verbalizaram a

versão dos acontecimentos. Os investigadores fizeram acusações na primeira pessoa tais como: “Eu comprei o veneno”, associadas a outras afirmações neutras, tais como: “O céu é azul.”⁽²³⁾.

Posteriormente, foram medidas as ondas P300 e o juiz concordou que o teste demonstrava conhecimento experimental. Deste modo, é urgente investigar os novos meios de deteção da mentira de modo a validá-los e poder generalizar os resultados, para que não se cometam erros de acusar inocentes⁽²³⁾.

A **espetroscopia a laser** permite visualizar um feixe laser nas camadas exteriores do cérebro e posteriormente correlacioná-las com os padrões da mentira.

A **termografia peri-orbital** é um método que permite medir a temperatura à volta dos olhos. Este sistema que permite a deteção da mentira baseia-se no aumento de temperatura, resultante do aumento do fluxo sanguíneo na região pré-frontal⁽²³⁾.

À semelhança dos métodos já referidos, existe outro que se destaca pela sua semelhança ao polígrafo. Este baseia-se na procura e análise de **micro-expressões** e reações involuntárias e incontrolláveis do corpo, ao invés de se focar em sinais cerebrais⁽²³⁾.

As **Imagens térmicas** de alta definição⁽²⁶⁾ referem ter uma taxa de precisão que ronda os 78%. Contudo, calcula-se que na verdade, a taxa de precisão seja igual ou superior à do polígrafo (60%).

À semelhança do caso anterior, também a tecnologia baseada nas condições que a **voz** apresenta durante o momento da mentira, possui uma taxa de precisão idêntica à do polígrafo.

A **espectroscopia por infravermelho** tem como objetivo detetar o sinal BOLD no cérebro durante a utilização de oxigénio. Contudo, esta pode ser prejudicial para os paradigmas cognitivos. Esta é uma tecnologia pouco desenvolvida e ainda na fase inicial⁽²⁶⁾.

A **magnetoencefalografia** (MEG) permite medir os campos magnéticos criados pelas correntes elétricas provenientes dos neurónios. Estes campos magnéticos são originados, quando as correntes elétricas se propagam através das dendrites de muitos neurónios.

Apesar da MEG possuir uma resolução de milissegundos, possui uma resolução espacial limitada (tal como o EEG). Desta forma, devido à importância da localização espacial a RMf consegue mais uma vez superar estes métodos ⁽²³⁾.

A **estimulação magnética transcraniana** (TMS) utiliza campos magnéticos fortes, de modo a induzir campos elétricos por indução magnética nas regiões cerebrais, sem recorrer a cirurgia ou elétrodos externos ⁽²³⁾.

Se utilizarmos a TMS para suprimir a atividade numa determinada região cerebral e o indivíduo obter um pior desempenho na tarefa, pode-se evidenciar com mais certeza, que esta região está a ser utilizada para a execução daquela tarefa ⁽²³⁾.

Este método permite interromper os circuitos neuronais relacionados com a mentira, o que diminui o tempo das respostas falsas, em relação ao tempo que é necessário para responder a afirmações verdadeiras ⁽²³⁾.

A PET – **Tomografia por Emissão de Positrões** - baseia-se na injeção de um líquido radiofármaco, que funciona como marcador. Quando o sangue migra para as regiões cerebrais passa a existir mais radioatividade nessa região, o que permite detetar e localizar essas regiões relacionadas com maior radioatividade ⁽²³⁾.

Essa deteção é realizada com o auxílio de um *scanner* externo e permite determinar os níveis de metabolitos em tecidos específicos ⁽⁷⁾. Os marcadores utilizados são materiais que circulam no sangue e penetram na barreira hematoencefálica, ligando-se à glicose. ⁽²⁴⁾

Quando aumenta a atividade em determinadas regiões, existe um maior aumento de glicose nas regiões ativas em comparação com as regiões não

ativas ou minimamente ativas. Todavia, o número de vezes que se pode utilizar este método de forma segura é limitado pois os marcadores libertam energia nuclear no campo cerebral. ⁽²⁴⁾

As vantagens da PET baseiam-se na sua elevada sensibilidade e no seu elevado intervalo de potenciais marcadores. As desvantagens recaem sobre a utilização de materiais radioativos e os problemas que podem existir na sua distribuição cerebral, bem como na degradação do mesmo ao longo do tempo ⁽²⁴⁾.

No fundo a RMf e a PET são semelhantes na medida que criam imagens do cérebro em tempo real, através da geração de um sinal interno. Estes dois métodos utilizam igualmente os metabolitos resultantes da atividade neuronal, sendo no caso da RMf o oxigénio associado à hemoglobina e no caso do PET a glicose ⁽²⁴⁾.

No entanto, os métodos atuais de RMf, são muito mais seguros que os métodos utilizados na PET ⁽²⁴⁾. Deste modo, a RMf conquista terreno, pois não necessita de marcadores. A RMf permite ainda a medição da hemoglobina apenas com a presença de um forte campo magnético, evitando deste modo a toxicidade associada à injeção do produto e a sua distribuição irregular ⁽²⁴⁾.

Hoje em dia, com a evolução da RMf e dos seus campos magnéticos, também a resolução é semelhante à PET. Sendo assim, é normal que RM aliada à sua segurança, especificidade e resolução, tenha sido uma das tecnologias mais estudadas para detetar a mentira ⁽²⁴⁾

Em suma, pode-se concluir que todos os métodos possuem desvantagens superiores e em maior número que a RMf, o que faz com que esta técnica seja a mais promissora no campo da deteção da mentira.

4.3 Desafios da RMf e deteção da mentira: estado de arte na investigação

Existem autores⁽¹⁾ (Bizzi, E. et al.) que defendem que o facto de construir uma resposta falsa quando a pessoa é instruída a fazê-lo, não é uma mentira mas sim uma “falsa afirmação instruída”⁽¹⁾.

Quando se pretende descobrir se um indivíduo é culpado por um crime grave através de métodos para detetar a mentira, pode-se originar uma ansiedade extrema no acusado ⁽¹⁾. A ansiedade não resulta diretamente da culpa, mas sim do simples facto de ser suspeito e dos resultados poderem ser falseados.

A desvantagem de detetar a mentira por RMf é que, normalmente, apenas os indivíduos inocentes ou os que já se assumiram culpados colaboram com este tipo de teste. É de extrema importância a colaboração dos indivíduos, pois movimentos de apenas alguns milímetros podem prejudicar os resultados do teste.

Comportamentos como movimentar a língua, mobilizar os olhos ou apenas fechá-los de modo a não ler as perguntas, inviabilizam o estudo ⁽¹⁾. Todos estes aspetos refletem que o indivíduo não quer colaborar no estudo, o que na maioria dos casos acontece porque este não deseja que os verdadeiros factos sejam divulgados.

Existem outras formas semelhantes de contornar a deteção da mentira por RMf, como por exemplo, a realização de aritmética mental que pode criar zonas de ativação que não se relacionam com o tema em estudo ⁽¹⁾.

Existiam muitas dúvidas em relação à mentira criada em investigação e estudada por RMf, e a mentira relacionada com o Mundo real. No entanto, com os estudos publicados por algumas empresas, esta realidade está cada vez mais próxima.

Um dos desafios na deteção da mentira é conseguir aproximar os cenários a situações do Mundo real ⁽¹⁾. Fatores como a emoção e a imaginação interferem quando se trata de uma mentira instruída e de uma mentira real.

Uma pesquisa recente na área das neurociências, afirmou que as imagens e a emoção podem alterar a representação dos eventos vividos. Desta forma, qualquer estudo de deteção da mentira para ser bem-sucedido, tem de considerar estes fatores ⁽¹⁾.

Parecem existir estudos⁽¹⁾ suficientes que comprovam que a emoção influencia o circuito neuronal, identificado na deteção da mentira. A pergunta que persiste é saber se a imaginação ou a repetição de situações podem alterar as respostas. Será que praticar a mentira por diversas vezes pode gerar uma falsa memória, na medida em que reduz o conflito entre a verdade e a mentira? ⁽¹⁾. Alguns estudos encontram-se atualmente a tentar detetar a mentira em situações de alto risco ⁽¹⁾.

Estudos comportamentais referem que a prática da mentira reduz o efeito do conflito criado no giro cingulado anterior. Existem poucos estudos sobre este aspeto, mas seria interessante, perceber de que forma as mentiras ensaiadas, repetidas e praticadas alteram os circuitos neuronais ⁽¹⁾.

Contudo, quando se tentar construir um neurocircuito para a deteção da mentira, deve-se ter em atenção que o desenvolvimento deste depende de estudos controlados em “laboratório” ⁽¹⁾.

Desta forma, é essencial examinar ao pormenor as diferenças entre a mentira controlada e os outros tipos de mentira. É de notar, que a limitação baseada na aplicação dos resultados laboratoriais é um desafio para todos os estudos sobre o comportamento humano, e não só para a deteção da mentira por RMf.

Será essencial até esta limitação estar ultrapassada, que este método continue a ser um tema de investigação, e só posteriormente, um instrumento de utilização legal em tribunais⁽¹⁾. Para se conseguir atingir este objetivo, é imprescindível demonstrar a sua validade e vê-la como uma situação análoga à

vida real de modo a proceder posteriormente à sua publicação ⁽¹⁾. Até que tal não aconteça, a deteção da mentira através da RMf poderá contribuir como um valioso auxiliar em situações de elevada controvérsia.

4.4 Familiaridade e reconhecimento do local

Segundo alguns autores ⁽¹⁾, existem duas formas de utilizar a RMf de forma a detetar a mentira. Uma delas está associada à familiaridade relacionada com o local do crime. Se a polícia acusar o suspeito de estar presente no local do crime, este pode negar as acusações. Contudo, a inovação da RMf nesta área permite que sejam apresentadas ao indivíduo as imagens do local.

Assim, enquanto o suspeito olha para a imagem do local do crime, estuda-se o padrão do efeito BOLD de modo a investigar se o suspeito teve ou não relação ou experiências no local em questão ⁽¹⁾. Neste caso, pode-se concluir que a deteção da mentira baseia-se nos circuitos neuronais que representam a memória.

Por outro lado, quando um indivíduo mente, ele inibe a verdade para criar a mentira, produzindo um conflito entre estas duas ações. Estes circuitos neuronais são distintos, diferindo durante o momento da verdade e durante o momento da mentira ⁽¹⁾.

Wagner et al, tentaram perceber se ao visualizar caras conhecidas ou um cenário já antes visto, o padrão de actividade do cérebro respondia de forma diferente. Neste estudo foram apresentadas caras de diferentes pessoas e os participantes tinham de referir se já tinham visto aquela face e se era uma cara familiar ou totalmente desconhecida ⁽¹⁾.

Estes investigadores concluíram que consoante a resposta dos participantes, o efeito BOLD variava nas diferentes áreas cerebrais (lobo temporal; hipocampo e giro fusiforme). O hipocampo demonstrou uma maior ativação cerebral quando as caras eram consideradas pouco familiares. Pelo

contrário, o giro fusiforme manifestou uma maior atividade cerebral quando as faces eram familiares ⁽¹⁾. Com este estudo, deu-se um importante passo na área da detecção da mentira, ao demonstrar que a familiaridade pode ser detetada por RMf, o que significa que no futuro podem ser solucionados crimes com base neste princípio ⁽¹⁾.

No entanto, nem tudo na ciência é linear. Existem memórias com as quais temos de ter especial atenção – as falsas memórias. Estas são memórias que acreditamos serem verdadeiras mas que na realidade não o são. Indivíduos com práticas de confabulação podem integrar experiências de falsas memórias, o que poderá ser prejudicial ao tentar detetar a mentira por RMf, devido à probabilidade de conduzir a falsos resultados.

Um exemplo muito fácil de perceber é a apresentação de várias palavras tais como: “Bolo, chocolate, torta, gelado, coração, mel, pipocas.” Se perguntarmos se a palavra “cadeira” estava presente, você naturalmente responderá “não”. Contudo, se questionarmos acerca da presença da palavra “doce”, provavelmente ficará na dúvida. O que acontece é que se formos reler as palavras anteriores, verificamos que “doce” não está na lista, mas é uma palavra associada a todas as outras.

A maioria dos participantes que se submeteram a este teste respondeu que “doce” fazia parte da lista, pois a imagem de doces provavelmente veio à memória quando foram apresentadas todas as outras palavras.

Isto designa-se por falsa memória, apesar de não o ser, isto é, temos lembranças que são associadas a imagens, tal como neste caso a palavra “doce” é uma memória imaginada, que foi criada durante a leitura de todas as palavras expostas ⁽¹⁾.

É neste sentido que a RMf tem de progredir, pois é fundamental investigar, se a RMf pode diferenciar as memórias imaginadas das memórias reais ⁽¹⁾. Num estudo em que se utilizou o paradigma descrito anteriormente, foi possível concluir que o hipocampo (região responsável pela memória), não

distingue as memórias vividas das memórias imaginadas. Este facto deve-se à sobreposição de sistemas neuronais ⁽¹⁾.

Todavia, existem outras áreas na região do córtex, como é exemplo o parahipocampo, que permite o processamento de dados na percepção da memória. O parahipocampo manifestou uma maior ativação quando relacionada com falsas memórias ⁽¹⁾. De forma idêntica, também o giro fusiforme está relacionado com a percepção e processamento da memória ⁽¹⁾.

Estudos indicaram que estas duas regiões são fundamentais para detetar episódios de elevada emoção e de identificação de rostos. A emoção está presente quando o criminoso está envolvido no cenário do crime. No momento em que este visualiza as fotos do crime ou dos seus cúmplices, é originada uma carga altamente emocional ⁽¹⁾.

Um estudo realizado por Gonsalves et al, em 2005, concluiu que a relação entre o reconhecimento de caras familiares e a ativação do parahipocampo é inversa. Dois anos mais tarde, Sharot et al, comprovaram que pessoas que estavam próximo do atentado de 11 de Setembro no *World Trade Center*, ao recordarem este acontecimento exibiam uma maior ativação na região do parahipocampo, do que quando recordavam outros acontecimentos menos emocionais ⁽¹⁾.

Para caras desconhecidas, detetou-se uma maior ativação no giro fusiforme ⁽¹⁾. Existem ainda autores que defendem que as emoções podem prejudicar a aquisição de imagens de RMf para detetar a familiaridade, porque as regiões que são fundamentais para a percepção da memória são influenciadas pela emoção ⁽¹⁾.

4.4.1 Sinais corporais relacionados com a Mentira

Nancy Kanwisher afirma que ser instruído para mentir não é uma mentira verdadeira, mas sim afirmar o que lhe foi incutido. Apesar deste facto,

quem mente (independentemente de ser instruído ou não) realiza constantemente um maior esforço mental para que a mentira pareça verdadeira⁽²⁵⁾.

Um estudo recente realizado em 2011, demonstrou que apresentar evidências baseadas na RMf para afirmar que o réu estava a mentir sobre ter cometido determinado crime, foi mais preponderante do que qualquer outra condição apresentada.

As mentiras que conduzem a consequências são mais difíceis de expor do que as mentiras sem consequências⁽²⁷⁾. Mentir sobre um crime pode ser uma tarefa complexa e stressante para a maioria das pessoas. Esta tarefa pode ser bastante difícil de levar até ao fim, pois o mentiroso tem de verbalizar a sua história com todos os seus detalhes, de forma a parecer credível para quem está a ouvir⁽²⁷⁾.

Normalmente, as mentiras são acompanhadas de fortes emoções, tais como: o medo, a raiva o remorso e a excitação. Estas emoções devem ser inibidas e falsificadas, de modo a não serem descobertas e não conduzirem à verdade. Um exemplo, é o caso de um terrorista que está no aeroporto e tem de sorrir aos funcionários enquanto esconde o ódio e desprezo em relação aos mesmos⁽²⁷⁾.

Desta forma, qualquer indivíduo que não está a ser verdadeiro deve adequar a sua linguagem corporal e as suas expressões faciais, de modo a não ser descoberto. Curiosamente, parece que muitas pessoas que mentem, recorrem a movimentos ativos para aumentar a credibilidade da sua narração ou desviar as atenções da mesma. Isto sugere-nos que a pessoa que está a mentir, não deve recorrer a demasiados detalhes ou informações excessivas, que conduzam ao esquecimento do que foi contado⁽²⁷⁾.

Algumas pessoas que mentem podem parecer menos descontraídas e mais rígidas do que é habitual, na medida em que demonstram uma diminuição dos movimentos das mãos e dos braços, com o intuito de transparecer calma e tranquilidade⁽²⁷⁾.

Um estudo realizado por DePaulo et al, constatou que os mentirosos apertavam os lábios mais frequentemente do que os indivíduos que diziam a verdade ⁽⁵⁾. A velocidade do discurso reduzido, as vagas descrições, os detalhes repetidos, as produções excessivamente estruturadas e a falta de contexto, são alguns dos sinais que se alteram, quando uma pessoa está a mentir ⁽²⁷⁾.

Contudo, existem variantes nestes padrões e não há um padrão modelo, o que dificulta a tarefa de detetar a mentira. De toda a forma, se conhecermos alguns sinais individuais que estejam normalmente presentes no momento da mentira, será um passo importante para se conseguir chegar à verdade ⁽²⁷⁾.

4.5 Regiões cerebrais ativadas pela mentira

Estudos têm demonstrado que o **giro frontal inferior** tem um papel fulcral na resolução deste tipo de conflito (emoções / realidade), pois acredita-se que esta região está relacionada com a mentira, e para mentir é necessário haver a inibição da verdade ⁽¹⁾.

Acredita-se que quando um sujeito é confrontado com acusações, as áreas associadas à memória de reconhecimento são ativadas nos indivíduos que cometeram o crime e não nos suspeitos inocentes ⁽²⁷⁾.

A região do **cingulado anterior** é uma sub-região do córtex pré-frontal medial que está associada à mentira. Há evidências que referem esta área como importante para o controlo cognitivo, como por exemplo, na seleção de respostas adequadas, na inibição de respostas e na resolução de conflitos. Estes fatos são essenciais para se conseguir transmitir uma mentira credível ⁽²³⁾.

Áreas como o córtex cingulado e o giro frontal inferior estão igualmente implicadas em estudos de deteção de mentiras. Alguns estudos, têm sugerido que a ativação nesta região é a maior evidência de que um participante está a mentir ⁽¹⁾.

Um estudo realizado por Kozel et al, utilizando um protocolo com perguntas design-misto revelou significativas áreas de ativação, tais como a região referente ao hemisfério direito: **região orbito-frontal; a região frontal inferior; a região média frontal e as regiões do giro cingulado** ⁽²⁹⁾.

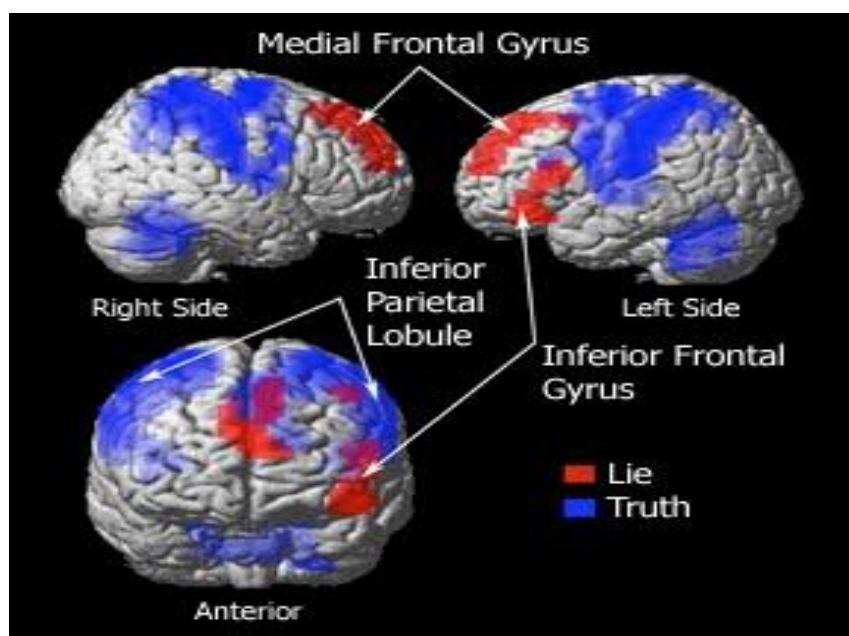


Figura 14 - Regiões cerebrais ativas relacionadas com a mentira (vermelho) e com a verdade (azul).

Fonte: (Davatzikos et al., 2005)

Na maioria dos estudos⁽²³⁾ descritos até hoje, a **região parietal** tem sido nomeada como a região de maior atividade durante o engano.

Um estudo realizado para comprovar o poder da RM na detecção da mentira, consistiu em dar aos participantes duas cartas sobre as quais eles tinham de mentir (apenas sobre uma). De seguida, foram expostas uma série de cartas e fornecidas instruções para os participantes pressionarem um dos dois botões, consoante fosse ou não a carta que eles tinham visualizado ⁽²³⁾.

Deste modo, foi possível aos investigadores medir a atividade cerebral durante a apresentação de cada uma das cartas e criar uma classificação com o propósito de distinguir a verdade da mentira ⁽²³⁾.

Em suma, será importante não esquecer, que existem alguns fatores que podem influenciar otimização dos resultados ⁽²³⁾:

- 1) Estudos em laboratório / Estudos no mundo real.
- 2) Diferenças da população: população universitária e população do mundo real (diferentes culturas e diferentes classes socioeconómicas).
- 3) Verdade Versus Mentira: falsas memórias; imaginação e doenças mentais.
- 4) Validade externa e reprodutibilidade.
- 5) Patologia neuropsiquiátrica.
- 6) Utilização de substâncias psico-ativas.

4.5.1 Tempos de reação

Para detetar a mentira é necessário possuir conhecimento em relação aos conflitos que podem estar presentes no circuito neuronal ⁽¹⁾. O Teste *Stroop*, é uma tarefa clássica que permite detetar estes conflitos relacionados com as respostas dadas pelos sujeitos, durante o mapeamento das áreas associadas à mentira.

Neste tipo de teste é apresentada uma lista de palavras com um fundo de várias cores. É solicitado a cada participante para mencionar a cor em que as palavras estão impressas e para ignorar as palavras. Desta forma, se a palavra for impressa em azul o participante deverá dizer “azul” e ignorar a palavra ⁽¹⁾.

O grau de dificuldade deste paradigma aumenta quando o objetivo é ignorar o nome das cores. Por exemplo, o tempo de resposta é mais elevado quando se tem de dizer cor “azul”, quando a palavra a ignorar será o “vermelho”. Este tempo de resposta elevado deve-se ao conflito entre a leitura e a visualização da cor em questão. Este paradigma permite a ativação da **região dorsal do córtex cingulado**, também ativado em estudos de deteção de mentira (Kozel et al, 2004) ⁽¹⁾.

No teste Stroop emocional, são visualizadas palavras altamente emocionais, impressas em diferentes cores de tinta, tendo por base o mesmo objetivo. De forma idêntica ao teste anterior, também aqui o tempo de resposta mais elevado foi registado durante a nomeação da cor das palavras emocionais. Porém, neste caso, a área mais ativa foi a região **ventral do córtex cingulado anterior** ⁽¹⁾.

Estudos semelhantes demonstram que ao serem realizados paradigmas onde são apresentados um conjunto de estímulos, neste caso as letras: “B,D,F” e é perguntado ao participante se a letra “D” faz parte do conjunto alvo, o participante naturalmente responde “sim”. De seguida, ao ser exposto um novo conjunto “K,E,H” e apresentada a letra “B”, os participantes deveriam responder negativamente. Contudo, nos casos em que foi apresentada a letra “B” os intervenientes demoraram mais tempo a responder, isto porque, apesar da letra não estar incluída no novo conjunto, já tinha sido visualizada anteriormente e, portanto, os participantes estavam preparados para responder positivamente em relação à sua presença.

4.5.2 Precisão em testes para deteção da mentira

Os investigadores diferenciam dois tipos de erros na deteção da mentira. O primeiro é designado por falso positivo, que ocorre quando se afirma que a pessoa está a mentir quando na verdade isso não acontece. O segundo tipo de erro, é o falso negativo cujo teste afirma que a pessoa não está a mentir, apesar de o estar a fazer ⁽¹⁾.

Esta diferenciação é muito importante, pois a taxa de falsos positivos determina a especificidade do teste, enquanto que a taxa de falsos negativos determina a sensibilidade do mesmo.

No futuro, deverá ter-se especial atenção na aplicação de testes de RMf para detetar a mentira em tribunais, devido à taxa de falsos negativos pois esta pode acusar uma pessoa inocente de um crime que não cometeu. ⁽¹⁾

A interpretação e obtenção de dados relevantes não é simples. Para processar os dados deve-se primeiro definir um limite, de modo a evitar falsos positivos e obter resultados fiáveis. Segundo Bennett, poderíamos definir o nosso limite tão elevado que não teríamos falsos positivos, porém, também não teríamos resultados legítimos ⁽¹⁾. Isto significa, que não se correria o risco de acusar alguém inocente mas também poderíamos de correr o risco de ilibar culpados.

Um exemplo de como se eliminam os falsos positivos é demonstrado por um estudo realizado em 2009, onde Marcus Raichle “isolou” as áreas cerebrais associadas à leitura de palavras em voz alta e eliminou as áreas cerebrais relacionadas com a perceção visual da palavra. O resultado foi obter apenas as imagens das áreas relacionadas com a leitura, de modo a não existirem falsos positivos.

Aparentemente pode parecer fácil mas de facto realizar este isolamento de imagens não o é. Segundo Adina Roskies (2007), os mesmos dados em bruto de uma tarefa, podem originar uma imagem muito diferente, tal como tarefas muito diferentes podem originar imagens muito semelhantes.

4.6 Utilização da deteção da mentira e legislação: o caso dos EUA

Nos EUA o sistema legal impossibilita que as testemunhas sejam obrigadas a submeter-se a um detetor de mentiras. Contudo, é possível que testemunhas que estejam dispostas, se possam sujeitar ao detetor de mentiras ⁽¹⁾.

Apesar da lei não permitir o uso de detetores em todas as situações, permite que os advogados de defesa utilizem este teste em testemunhas disponíveis para tal. Quando a intenção é impedir que pessoas inocentes sejam acusadas de crimes que não cometeram, deve-se recorrer a todos os meios possíveis para prová-lo.

Se não for possível utilizar a RMf para acusar pessoas (que poderão de facto ser inocentes, devido à probabilidade de existirem falsos positivos), deveremos recorrer a este método para defender pessoas inocentes. A lei afirma que todos os réus são inocentes até prova em contrário, o que implica que apesar dos erros que podem existir, será mais grave culpar uma pessoa inocente do que libertar um culpado.

A lei obriga a que sempre que questionado um réu sobre a realização ou envolvimento num crime e este for negado, o seu depoimento deve ser tomado como verdadeiro até haver prova em contrário. Neste caso, a RMf é uma vantagem e um auxílio para comprovar a inocência, não devendo ser utilizada como ferramenta de acusação sem recorrer a outras provas ⁽¹⁾.

O problema neste campo é que os juízes já afirmaram que mesmo que existisse um detetor de mentiras completamente eficaz, estariam contra na medida em que põe em causa o seu trabalho ⁽¹⁾. Esta questão tem conduzido a alguma controvérsia, pois já são pelo menos duas empresas que comercializam serviços de deteção de mentira por RMf, nos EUA.

4.6.1 Empresas dedicadas à deteção da mentira por RMf

As duas empresas (“No Lie Mri” e “Cephos Corporation”) que utilizam a RM na deteção da mentira garantem determinar com 90% de precisão, se uma pessoa está ou não a dizer a verdade ⁽²⁷⁾.

O presidente de uma destas empresa (Dr. Laken), afirma que: “em relação ao mapeamento das áreas cerebrais associadas ao engano utiliza tecnologia avançada, imparcial e cientificamente validada”. Esta empresa tem à disposição especialistas que têm apresentado evidências em tribunal, sendo que o lema baseia-se na ciência por trás da verdade ⁽¹⁾.

Dr Laken explorou as áreas cerebrais mais ativas durante o decorrer da mentira e foi capaz de identificar com elevada precisão quais as áreas

cerebrais ligadas á mentira. Estes estudos⁽¹⁾ conseguiram determinar com certeza 86% e 97 % dos casos.

A vantagem de usar este método está relacionada com a não invasão, alta precisão, alta resolução espacial e rapidez na obtenção dos resultados ⁽¹⁾.

4.7 Vantagens e Desvantagens Futuras da RMf aplicada à detecção da mentira

Hoje em dia, os investigadores reconhecem o enorme potencial da RMf para detetar a mentira. Tal como eles, também o estado e a sociedade vêem um grande impacto na aplicação da RMf ao Mundo real, principalmente em grandes catástrofes que podem ser evitadas, como o caso do terrorismo ⁽²⁵⁾.

Contudo, esta tecnologia ainda está em fase experimental mas prevê-se que no futuro esteja implementada em diferentes setores, tais como no âmbito legal. Até atingir este objetivo, é preciso realizar mais estudos para avaliar as diferenças individuais.

Atualmente, poucos estudos tentaram detetar a mentira numa situação direta onde os riscos são elevados ⁽¹⁾. Os falsos positivos são igualmente uma preocupação, pois as pessoas podem a dizer a verdade, e as suas afirmações não serem consideradas como verdadeiras ⁽¹⁾.

O cansaço também é um obstáculo à RMf, pois existem estudos que afirmam que no momento em que a pessoa que se submete à RMf, começa a ficar exausta e a precisão diminui aproximadamente em 25%. Está descrito que uma pessoa pode ficar de tal modo cansada, que os resultados são afetados após duas sequências, de forma semelhante à fadiga causada por dormir pouco na véspera de um teste ⁽¹⁾.

4.7.1 Obstáculos a ultrapassar pela RMf aplicada à mentira

Para ser aceite nos tribunais, a RMf tem ainda um longo caminho a percorrer. A regra da evidência, é um dos obstáculos a ultrapassar pela RMf e consiste em garantir que este novo método de detetar a mentira, não permita prejuízos injustos, confusão de questões e sobretudo não permita enganar os tribunais e profissionais que lá trabalham ⁽²⁴⁾.

Os júris devem ter formação e receber informações de modo a perceber os resultados fornecidos pela RMf com o intuito de não supervalorizar ou aplicar de forma errada, os resultados fornecidos pela RMf.

Desta forma, é necessário recorrer a um consultor na área de RMf, capacitado para esclarecer todas as dúvidas e com conhecimento científico, técnico e especializado, de forma a auxiliar o juiz a compreender e interpretar os resultados da RMf ⁽²⁴⁾.

4.8 Justificação do Tema

A literatura que existe para cada um destes meios de deteção da mentira não é abundante⁽¹⁾, pelo que o modo de como estes instrumentos funcionam ainda é pouco conhecida. ⁽¹⁾

Pelo contrário, a RMf para detetar a mentira tem evoluído e desenvolvido claramente de forma bastante positiva. Em Março de 2007, pelo menos 12 artigos foram publicados em oito locais diferentes, utilizando modelos experimentais distintos ⁽¹⁾.

Sendo assim, é necessário replicar estes trabalhos de forma idêntica pois é essencial para o desenvolvimento da ciência. Tem-se vindo a provar que esta é uma tecnologia particularmente inovadora e complexa, onde todos os detalhes do método experimental; método de seleção de participantes e aspetos técnicos da RM, podem fazer a diferença ⁽¹⁾.

Estudos publicados ⁽²⁷⁾ demonstram que indivíduos com características africanas recebem sentenças de maior durabilidade do que indivíduos com características caucasianas. Os sujeitos com ar mais jovem e atraente são igualmente menos penalizados, em relação aos indivíduos cuja idade faz ter um aspeto mais maduro e menos atraente ⁽²⁷⁾.

Em suma, é fundamental excluir o preconceito e recorrer a métodos científicos que permitam detetar a mentira, com precisão e eficácia ⁽²⁷⁾.

4.9 Objetivos

Os objetivos deste estudo são:

- Identificar quais as zonas cerebrais que estão ativas durante a mentira e a verdade, usando a Ressonância Magnética Funcional.
- Desenvolver um novo paradigma de menor duração, para a avaliação das zonas cerebrais associadas à mentira, e sem necessidade de recorrer à caixa de respostas.

Capítulo 5

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia está organizada de forma a dar a conhecer ao leitor: a amostra de participantes utilizada neste estudo, o paradigma, o equipamento de Ressonância Magnética e a análise posterior dos dados recolhidos.

5.1 Caracterização da amostra

Inicialmente foram seleccionados 9 voluntários para realizar o estudo com idades compreendidas entre os 21 e 36 anos. Um dos participantes do sexo masculino de 21 anos de idade foi excluído por apresentar um tumor cerebral (astrocitoma de baixo grau de malignidade de localização intra-ventricular), reduzindo o número de participantes para 8 (dois voluntários do sexo masculino e 6 voluntários do sexo feminino).

Os **critérios de inclusão** são: falar fluentemente português, ser saudável e não possuir patologia cerebral. Os **critérios de exclusão** são: mulheres grávidas ou a amamentar; pessoas com doenças no sistema nervoso central ou perturbação psiquiátrica; uso de medicamentos ou drogas; pessoas sem capacidade de ler e perceber o Português; pessoas que não assinem o consentimento informado.

5.2 Preparação do participante

Cada participante foi preparado individualmente para a realização e participação no estudo. Os participantes foram informados e instruídos em relação à metodologia subsequente aos paradigmas.

A possibilidade de simular a tarefa no exterior da sala e retirar as dúvidas existentes foi dada a todos os participantes. Estes foram esclarecidos

e responderam a um questionário específico de segurança para realização da RM.

5.3 Paradigma

Foram realizados dois paradigmas (perguntas e imagens), sendo o local do estudo o Hospital São José, localizado em Lisboa. O cenário utilizado baseou-se numa “cena de crime” que simulou o roubo de um objeto – anel/relógio, já anteriormente utilizado em outros estudos ⁽²⁸⁾. Tendo como base este paradigma, levou-se o participante a uma sala onde estavam expostos o anel e o relógio, dentro de uma gaveta. Os participantes foram instruídos a roubar um destes objectos e colocá-lo dentro de um armário.

Neste protocolo, os participantes foram instruídos para na primeira fase das perguntas (após surgir a palavra “Admitir” que surge apenas uma vez), admitirem o roubo, e na segunda fase (após aparecer a palavra “Negar” que surge apenas uma vez), refutarem o mesmo.

A apresentação das perguntas é seguida pela resposta “Sim” ou “Não”. O participante é instruído a não responder até que a resposta apareça no ecrã. Esta regra tem como objectivo reduzir a variabilidade do tempo de resposta entre participantes, devido às diferenças de velocidade e de leitura consoante os indivíduos ⁽²⁵⁾.

Depois do participante responder à pergunta, aparece no ecrã a palavra “Sim” na qual o paciente deverá carregar no botão referente ao “Sim”, e a palavra “Não” que requer que o paciente carregue no botão referente à palavra “Não”, designando-se esta etapa do estudo por período de descanso ⁽²⁵⁾. Este período tem uma duração de 12 segundos e pretende que o participante esteja concentrado na tarefa pretendida e não existam períodos “mortos”.

Como se pode constatar através da visualização da figura 15, após cada apresentação de “sim” ou “não”, é apresentado um sinal “+” que tem a duração de um segundo. Cada uma das perguntas possui um tempo de leitura de 3

segundos e um tempo de resposta de 2 segundos (perfazendo um total de 5 segundos). Com o intuito de diminuir o tempo do exame, apenas se repetem dois tipos de questões.

São realizadas 20 perguntas de cada categoria: relacionadas com a mentira: anel (20), relógio (20), subjetivas (20) e de controlo (20) (num total de 80 perguntas).

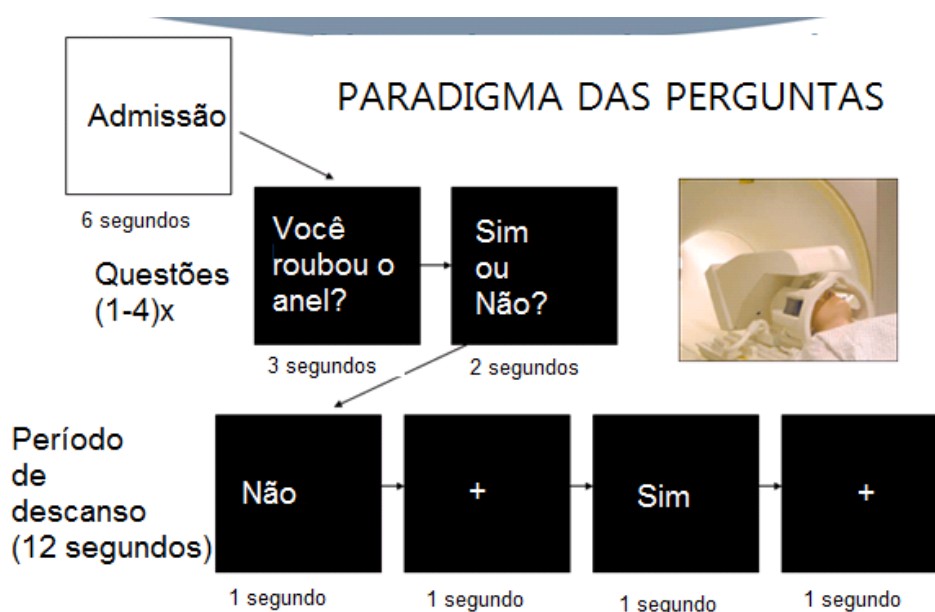


Figura 15 - Esquema representativo do tempo de duração das perguntas, respostas e períodos de descanso utilizado no paradigma para detetar a áreas cerebrais associadas à mentira.

Fonte: Adaptado do protocolo utilizado por uma das empresas que deteta a mentira ⁽²⁸⁾.

Em relação ao formato de perguntas, o design misto foi comparado em estudos ⁽²⁹⁾ anteriores com o design evento relacionado, tendo-se concluído que o primeiro está associado a melhores resultados.

No design misto existem vários períodos, designados por períodos de descanso, que são expostos entre as questões apresentadas. Estas questões,

possuem como vantagem que o participante esteja constantemente atento à tarefa solicitada ⁽²⁵⁾.

Na figura seguinte (número 16), pode-se visualizar o tipo de perguntas presentes em ambos os métodos ⁽²⁹⁾.

"Event Related	Duração (s)	Design-Misto	Duração (s)
Questão: Neutra	6	Questão: Neutra	5
Questão: Anel	6	Período de descanso	2
Questão: Relógio	6	Período de descanso	2
Questão: Controlo	6	Período de descanso	2
Questão: Anel	6	Período de descanso	2
Questão: Neutra	6	Período de descanso	2
Questão: Controlo	6	Período de descanso	2
Questão: Relógio	6	Questão: Anel	5
Questão: Controlo	6	Período de descanso	2
Questão: Anel	6	Período de descanso	2
Questão: Relógio	6	Período de descanso	2
Questão: Neutra	6	Período de descanso	2
Questão: Anel	6	Período de descanso	2
Questão: Neutra	6	Período de descanso	2
Questão: Relógio	6	Questão: Controlo	5
Questão: Neutra	6	Questão: Controlo	2
Questão: Controlo	6	Período de descanso	2
Questão: Anel	6	Período de descanso	2
Questão: Relógio	6	Período de descanso	2
Questão: Controlo	6	Período de descanso	2
Questão: Anel	6	Período de descanso	2
Questão: Neutra	6	Período de descanso	2
Questão: Relógio	6	Questão: Relógio	5
Questão: Controlo	6	Questão: Relógio	5
Questão: Anel	6	Questão: Relógio	5
Questão: Relógio	6	Questão: Relógio	5

Figura 16 - Comparação entre o método design misto e método evento-relacionado.

A vantagem deste tipo de design consiste em realizar uma, duas, três ou quatro perguntas do mesmo tipo (por exemplo: neutra) e de seguida utilizar um período de descanso, de modo a que os participantes não tenham conhecimento se o próximo passo será uma pergunta ou um período de descanso ⁽²⁵⁾.

Desta forma, é possível evitar que os participantes possam antecipar ou pensar nas respostas. Existem quatro períodos em que apenas uma questão é apresentada; dois períodos em que duas perguntas são apresentadas; dois períodos em que três perguntas são apresentadas e dois períodos em que quatro perguntas são apresentadas, de forma consecutiva ⁽²⁵⁾.

Este paradigma foi realizado em 1º lugar, pois esta tarefa requer maior concentração para responder corretamente às perguntas, ao contrário do paradigma das imagens, cuja tarefa se limita à visualização das imagens.

No paradigma das imagens e tendo com conta o estímulo visual, foi exibida uma imagem do relógio, e uma imagem do anel. As restantes imagens são de outros objetos, com os quais os participantes não tiveram qualquer contacto (carteira, brincos, vaso, pulseira, pente, fita para o cabelo, isqueiro e colar).

Desta forma, são expostas 10 figuras de forma aleatória, e cada uma delas aparece durante 8 segundos. Cada imagem é seguida de um período de descanso “+” de idêntica duração. Este ciclo repetiu-se durante duas vezes, perfazendo um total de 8 minutos.

O participante apenas tem de observar as figuras expostas (figura 17), sem ser necessário realizar qualquer ação, com o objetivo de averiguar se através da observação do objeto “roubado”, é possível ativar regiões cerebrais associadas à mentira.



Figura 17 - Paradigma da visualização das imagens.

Este paradigma pretende provar que não é necessário responder a perguntas, sendo o estímulo visual transmitido para o nosso cérebro, o suficiente para denunciar a mente.

As questões foram apresentadas numa tela, de forma aleatória, utilizando o programa SuperLab, produzido pela Cedrus Corporation, nos Estados Unidos da América.

O Superlab é um programa que se pode comprar *on-line* através do site www.superlab.com. Este programa permite criar uma série de eventos aleatórios (figura 18), registar os resultados obtidos e os tempos de reação de cada participante.

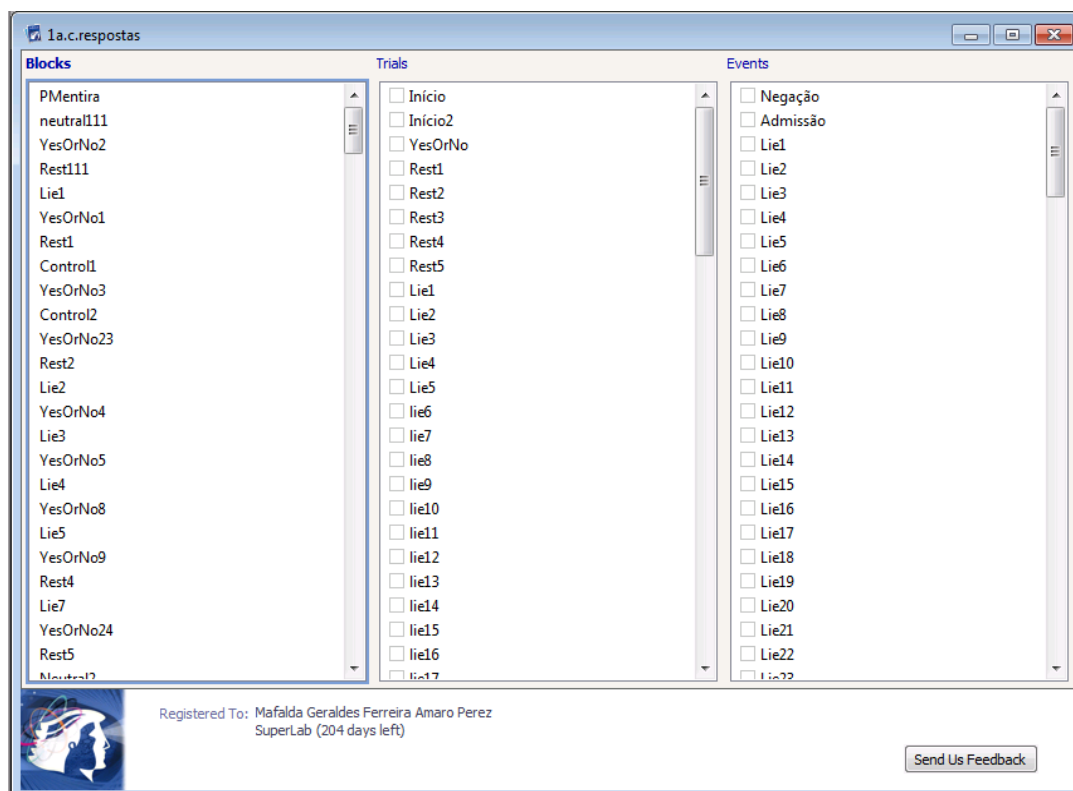


Figura 18 – Exemplo de eventos criados através do Superlab.

Fonte: Manual Superlab

Para iniciar o estudo, foram dadas instruções aos participantes para se dirigirem ao interior da sala de RM.

5.4 Equipamento utilizado no estudo

O Hospital São José possui uma Ressonância Magnética (Siemens) com uma intensidade de campo de 1,5 T, tal como se pode visualizar na figura seguinte (figura 19).



Figura 19 - Ressonância Magnética 1,5 T Siemens do Hospital São José.

Fonte: Hospital São José

A bobine utilizada foi a de crânio - *Phased array*, com 12 canais que permite a recepção do sinal.

De forma a diminuir os artefactos causados pelo movimento, foram colocados apoios/almofadas que facilitam a imobilização da cabeça e auscultadores de modo a reduzir o barulho emitido pela RM.

Para facilitar a comodidade dos participantes, foi igualmente colocada uma almofada em forma de cunha, para apoio dos membros inferiores. O conforto de cada participante é essencial para eliminar possíveis artefactos de movimento.

Após o posicionamento do participante em decúbito dorsal, mobilizou-se a mesa até ao centro do magneto.

Ao iniciar o estudo foi necessário cobrir toda a área cerebral, através de cortes que são marcados, tendo como referência um plano paralelo entre a

comissura anterior e posterior do corpo caloso, visualizada através de uma imagem de orientação sagital.

Para gravar as respostas dadas pelos participantes, durante o paradigma das questões, foi utilizado uma caixa de respostas (figura 20), que possui a vantagem de adquirir a resposta do participante a um determinado estímulo.



Figura 20 – Caixa de respostas Lumina LP-400

Fonte: <http://www.cedrus.com/lumina>

As respostas foram transmitidas, automatizadas e gravadas através de um sistema constituído por 2 botões: um botão vermelho inserido no comando localizado na mão direita referenciado para a resposta “Sim” e um botão azul inserido no comando segurado pela mão esquerda referenciado para a resposta “Não”.

Os participantes são instruídos a não responder às perguntas (figura 21) até visualizar no ecrã a pergunta “Sim ou Não”. A tela de projecção pode ser vista pelo participante, através de um espelho localizado na região superior da bobina da RM.



Figura 21 - Painel / ecrã onde os participantes podem visualizar as perguntas.

Fonte: Hospital São José

5.5 Protocolo

Quanto ao protocolo utilizado, foram adquiridas imagens anatómicas da totalidade do cérebro ponderadas em T1 e posteriormente imagens funcionais de RM, com auxílio da sequência EPI. O estudo terá a duração de aproximadamente 30 minutos.

Sequência utilizada	Duração
Localizador	15 segundos
T1 Sagital	2 minutos e 30 segundos
Sequência BOLD - Questões	20 minutos e 27 segundos
Sequência BOLD- Imagens	8 minutos e 6 segundos
Tempo total do exame de RMf	31 minutos e 18 segundos

Tabela 1 - Sequências utilizadas.

Foram utilizadas sequências com as seguintes características:

TR (ms)	2690
TE (ms)	50
DFOV (mm ²)	1152
Número de cortes	27
Espessura (mm)	3
Intervalo entre cortes	1.37
Bandwidth (Hz)	806
NEX	1
FA	90
Número de imagens do paradigma das perguntas	442
Número de imagens do paradigma visual dos objetos	179

Tabela 2 - Características das sequências utilizadas no paradigma de imagens e no paradigma das perguntas.

Após terminar o 1^o paradigma, deu-se início ao paradigma das imagens (já anteriormente descrito).

Após o estudo, foi solicitado aos sujeitos o preenchimento de um questionário sobre o estudo realizado, com a finalidade de conhecer qual o objeto que o participante roubou bem como a opinião do participante em relação à pertinência do estudo.

Considerações éticas: Apesar de o corrente estudo não estar directamente relacionado com a privacidade da pessoa em termos da doença, todos os dados obtidos no seu decorrer são completamente confidenciais e não serão fornecidos a terceiros.

5.6 Análise de dados / Estatística

Os dados foram examinados para verificar a participação nas tarefas, de modo a detetar as zonas ativas durante a mentira, bem como para verificar a existência de irregularidades. Respostas que não foram consistentes, não respondidas ou em desacordo com o protocolo, foram identificadas e modeladas de forma separada.

Os tempos de reação foram comparados para as questões do anel e para as questões do relógio, de modo a verificar as diferenças.

Os dados recolhidos foram armazenados de forma independente, no Instituto de Biofísica e Engenharia Biomédica da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

De forma a processar as imagens recorreu-se ao FSL. Este é uma ferramenta abrangente, que permite analisar imagens de RMf, de RM e de imagens de difusão cerebrais.

Na figura seguinte (figura 22), é apresentado um resumo das principais etapas, desde o paradigma experimental até à interpretação dos resultados.

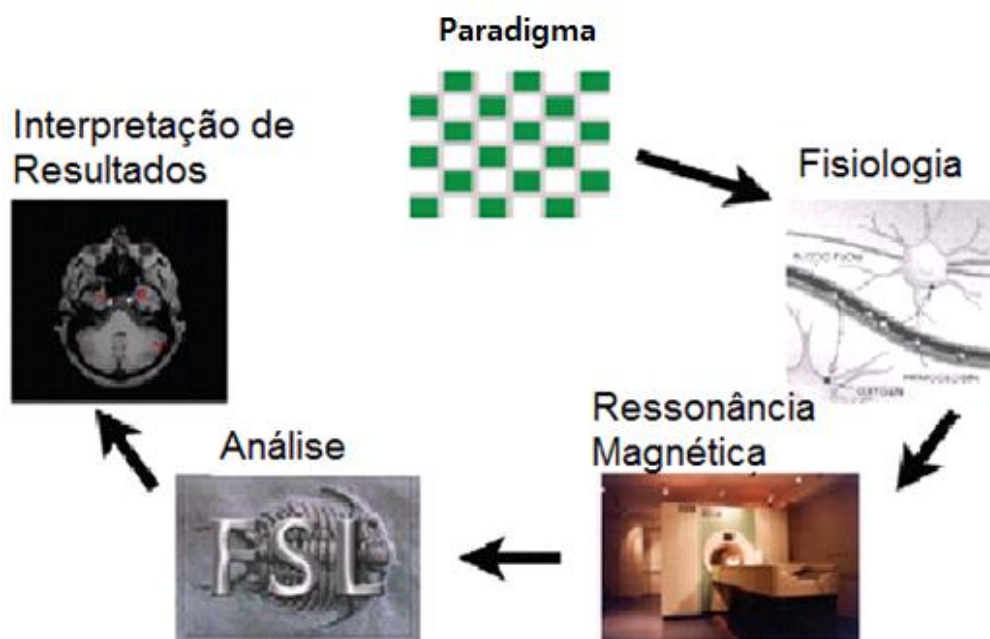


Figura 22 - Processo que contempla desde o paradigma até à interpretação de resultados.

Fonte: FSL Free Surfer Course, Seattle 2013.

O FSL está apto para ser instalado, através da criação de uma máquina virtual, em computadores. É possível utilizar o FSL em ambiente Linux, através do Windows 7, recorrendo a um *software* com capacidade de recriar o ambiente Linux, neste caso o NeuroDebian.

O principal motivo porque se utilizou o FSL na análise de dados, deve-se ao facto desta ferramenta identificar as zonas cerebralmente ativas (devido ao efeito BOLD) através da ferramenta FEAT (*Fmri Expert Analysis Tool*). A BET (Brain Extraction Tool) permite eliminar da imagem adquirida tecidos que não façam parte do tecido cerebral (e.g: região óssea)

5.7 BET – Brain Extraction Tool

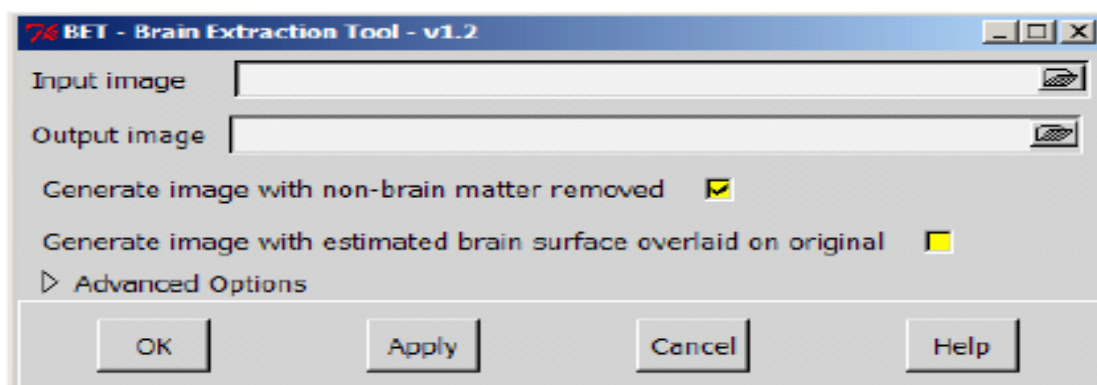


Figura 23 - Brain Extraction tool

Tal como se pode verificar através da imagem 22, para recorrer à ferramenta BET é necessário introduzir a imagem inicial e o destino da imagem final.

O resultado pode ser constatado nas figuras seguintes, antes da aplicação do algoritmo (figura 24) e depois da aplicação do mesmo (figura 25).



Figura 24 - Visualização (*FSLview*) do cérebro antes da aplicação do algoritmo BET.

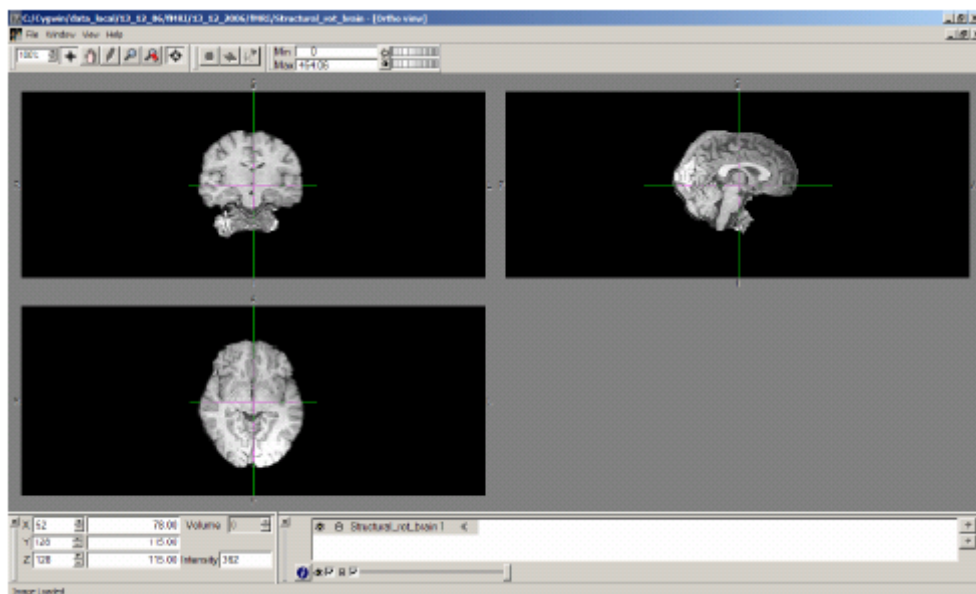


Figura 25 - Visualização (FSLview) do cérebro após a aplicação do algoritmo BET.

Através desta ferramenta, é possível obter uma imagem de tecido cerebral que pode ser utilizada para efetuar a análise dos dados funcionais.

5.8 FEAT – fMRI Expert Analysis Tool

Os passos necessários para introduzir o modelo bem como a metodologia utilizada na análise de dados, são descritos inferiormente. O FEAT permite analisar os dados individualmente – análise estatística de primeiro nível (*first-level analysis*).

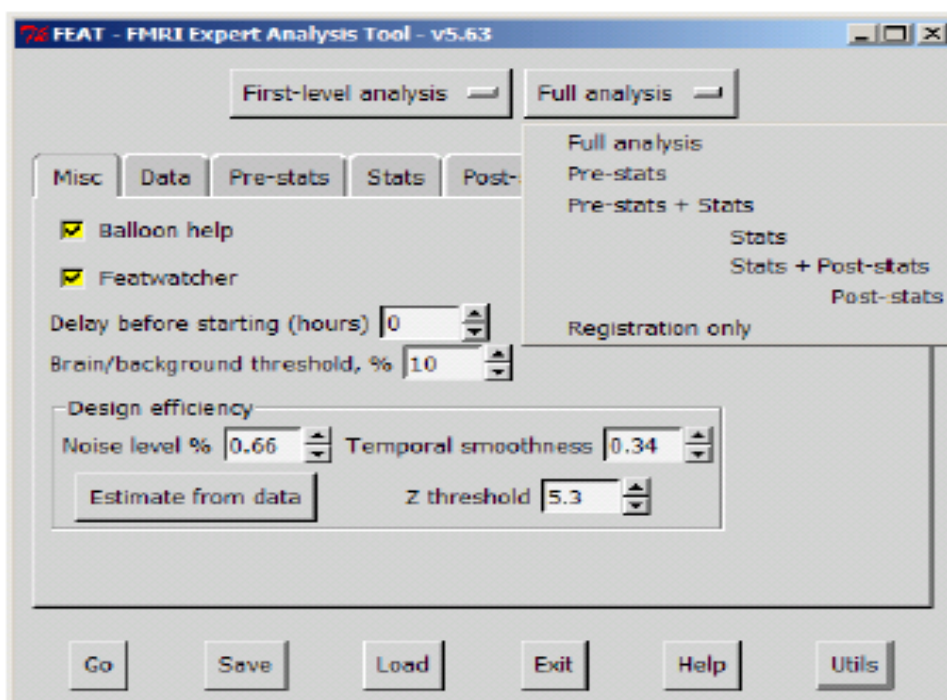


Figura 26 - First-level analysis.7

Tal como se pode visualizar na figura 26, a análise estatística é composta por 4 fases que podem ser combinadas de forma sequencial. O separador “Data” está sempre presente, independentemente da fase.

Pre-stats + Registration

Realizou-se previamente uma análise *Pre-stats* e *Registration* aos dados adquiridos. De seguida, introduzem-se os dados e parâmetros no separador “Data”, bem como o número de volumes que queremos eliminar, o valor do TR e do filtro passa-alto.

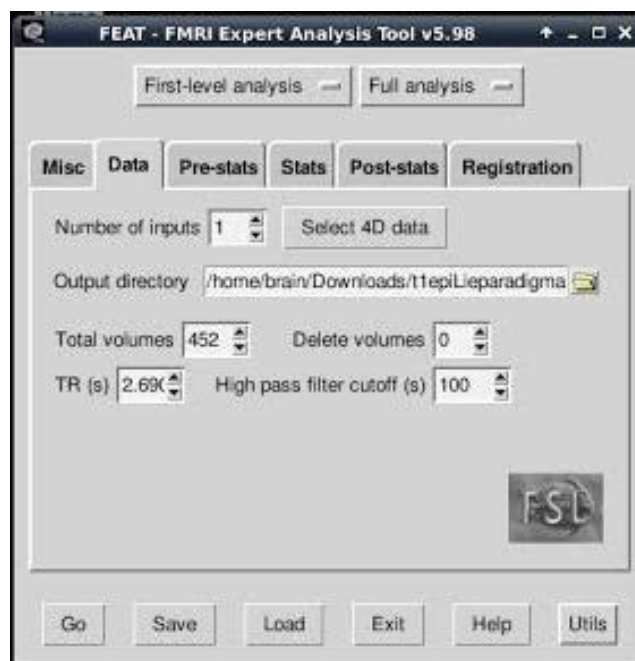


Figura 27 - First-level analysis – Data

O valor do TR utilizado na aquisição de dados foi de 2.69 segundos. No caso da análise das imagens o total de volumes foi de 179, enquanto no caso da análise das perguntas o total de volumes foi de 452.

O algoritmo presente no *Pre-stats* aplica correcção de movimentos (*Motion Correction*), diminuindo o artefacto que possa ocorrer quando o paciente move a cabeça, durante a aquisição de imagem, sendo designado por MCFLIRT (*Motion Correction FMRIB's Linear Registration Tool*). Quando o movimento é superior a 1 mm, é preferível remover os dados em questão, pois a quantidade de ruído que possuem é muito elevada.

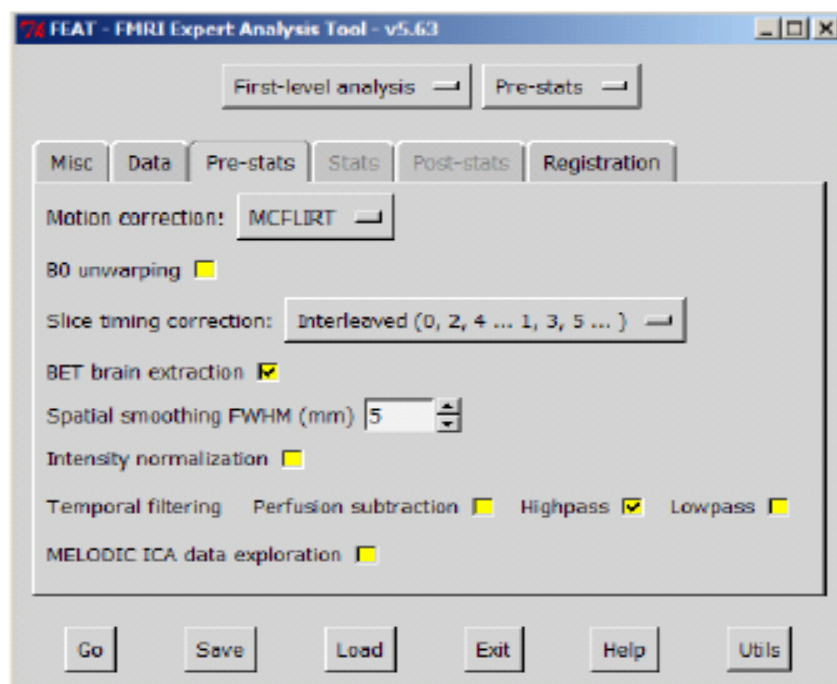


Figura 28 - First-level analysis - Pre-stats.

De seguida foi selecionada a opção “Interleved” que denomina as slices adquiridas com a seguinte sequência: “0, 2, 4 ... 1, 3, 5...” (denomina a aquisição de slices realizada pelo scanner).

O co-registo dos dados funcionais com diferentes imagens estruturais é realizado no separador “*Registration*”. Este passo é realizado em duas fases, sendo a primeira o co-registo dos dados funcionais de baixa resolução com a imagem estrutural de alta resolução: “*Main structural image*”. Este resultado deverá ser co-registado com a imagem presente no “*Standard space*”, que é uma imagem de referência fornecida pelo *software*.

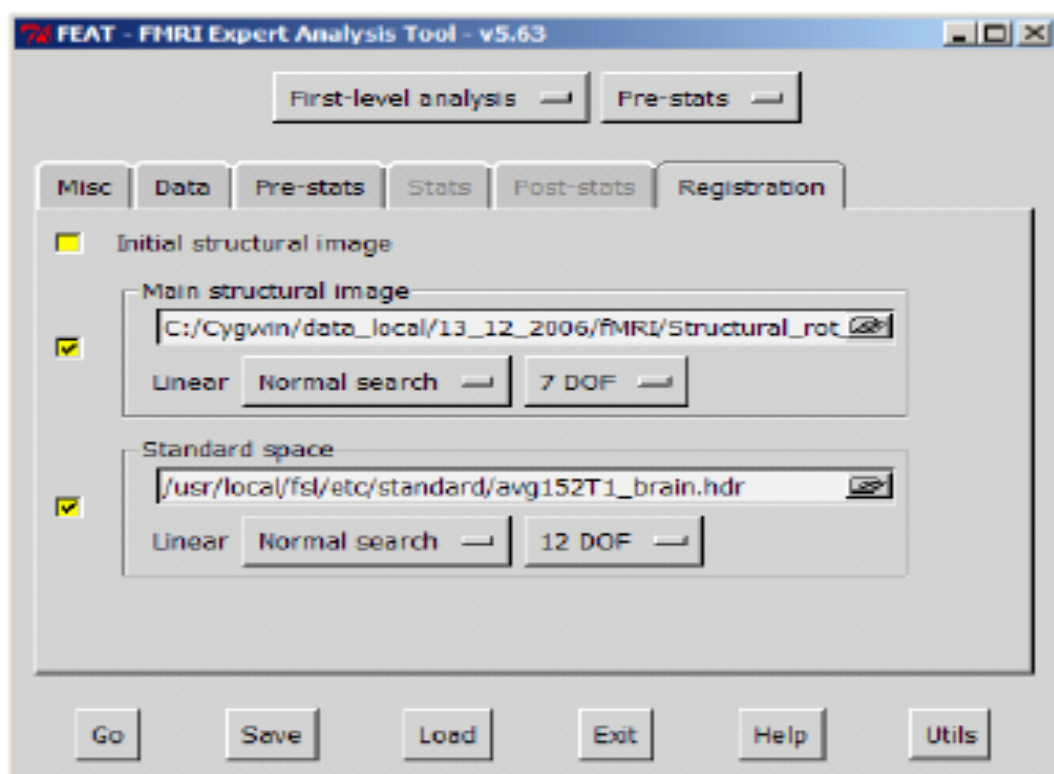


Figura 29 - First-level analysis - Registration.

No separador “Stats” é possível definir o modelo linear geral, descrevendo um ou mais tipos de estímulos e contrastes. Para modelos complexos, deve-se empregar a opção “Full model setup” (tal como neste caso).

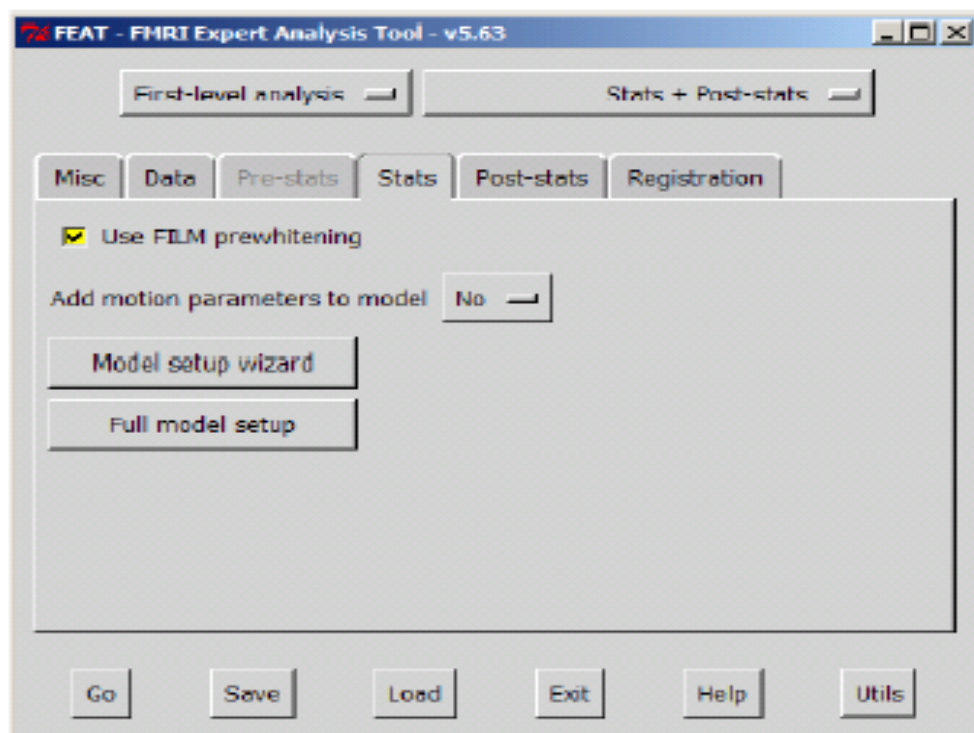


Figura 30 - First-level analysis - Full model setup.

De seguida, são editados cinco eventos já na forma de regressores, com 5 colunas (eventos) específicas do FSL para análise das perguntas, e com 3 colunas (eventos) para a análise das imagens.

Os cinco eventos do protocolo das questões são: Admissão do anel; Negação do anel; Admissão do Relógio; Negação do Relógio e Questões de controlo. Os três eventos para o paradigma das imagens são: Anel; Relógio e Outras imagens.

É possível seleccionar a forma de convolução da função da resposta hemodinâmica (HRF), através da opção “convolution”. O resultado deste passo será um atraso na forma original da onda caracterizadora do estímulo. Deste modo, passa a ser possível transitar da função de entrada (actividade neuronal) para a função de saída (resposta hemodinâmica). Neste caso, recorreu-se à função *gamma*.

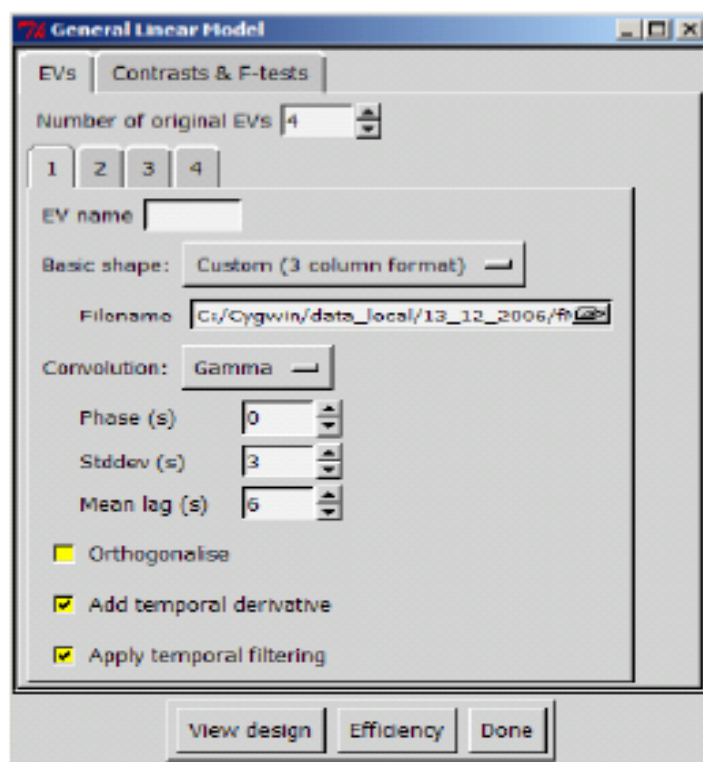


Figura 31 - General Linear Model - "Events"

No separador “Contrasts & F-tests”, foi inserida informação em relação ao número e descrição dos vários contrastes. No presente estudo, foram efectuados 7 contrastes para a análise das imagens do anel e do relógio e 17 contrastes para a análise das perguntas.

Os contrastes utilizados podem ser visualizados na secção dos resultados e as escolhas realizadas prendem-se com a necessidade de comparar os objetos entre si, com o objetivo de perceber quando se observa a ativação cerebral, e por consequência, quais as premissas que se associam ao objeto roubado.

A figura seguinte (figura 32) expressa o modelo aplicado em forma de gráfico produzido pelo FSL ao seleccionar o botão “*View design*”.

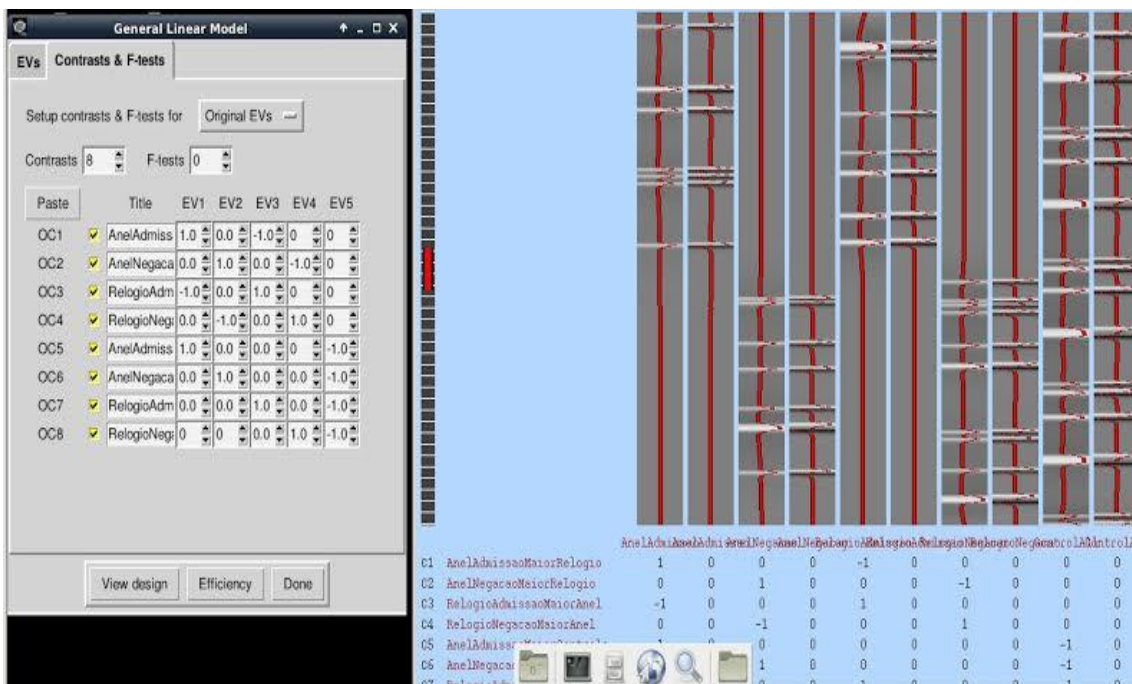


Figura 32 - Contrasts & F-tests e modelo dos regressores e do contraste utilizado – Paradigma das questões.

O tempo é representado pela barra da esquerda. As linhas vermelhas e a imagem que se encontra por baixo, a preto e branco, retratam a forma do estímulo. As colunas representam os eventos e, por sua vez, os contrastes estão descritos na região inferior na imagem (c1-c8). Os contrastes estão duplicados, pois representam a derivada, enquanto que, as linhas horizontais representam os tempos em que ocorreu o estímulo.

No separador “*Post-stats*” é escolhido um limiar estatístico Z (figura 33), com o valor de 0.05 que se traduz pela significância tradicional alfa de 5% no cluster. De seguida, é aberta uma página html onde são incluídas ativações na imagem (resultado da análise). O FEAT cria séries temporais (*time-series*) para os dados Vs modelo do voxel, com mais significância no contraste utilizado.

É possível obter a localização exata desse mesmo voxel, bem como uma análise semelhante para a média dos vóxeis, recorrendo para isso a uma análise mais completa.

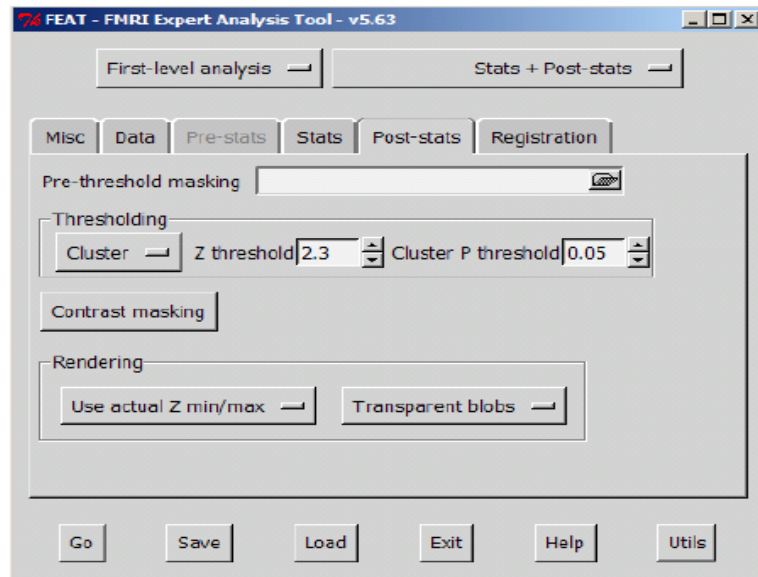


Figura 33 - Post-stats

Capítulo 6

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta secção, irão ser apresentados os resultados mais relevantes e os restantes poderão ser consultados no apêndice 4. Serão exibidas as imagens pós-processadas com as respetivas ativações cerebrais, durante os dois paradigmas utilizados, nos casos que se considera serem importantes para a compreensão do estudo.

Para se conseguir obter as imagens referentes aos dados recolhidos foi necessário proceder à análise, com as seguintes condições: Condição 1 – activação/resposta BOLD devido à visualização do relógio Condição 2 – activação BOLD mais intensa na visualização do relógio que na visualização do anel. As condições 3 e 4 são o contrário das anteriormente expostas, mas neste caso referem-se à activação cerebral quando se visualiza o anel. A condição 5 reflete a activação devido à visualização do anel e do relógio, em relação aos outros objetos. A condição 7 é uma condição contrária à 5, mas neste caso refere-se à activação cerebral presente quando se visualizam os outros objetos.

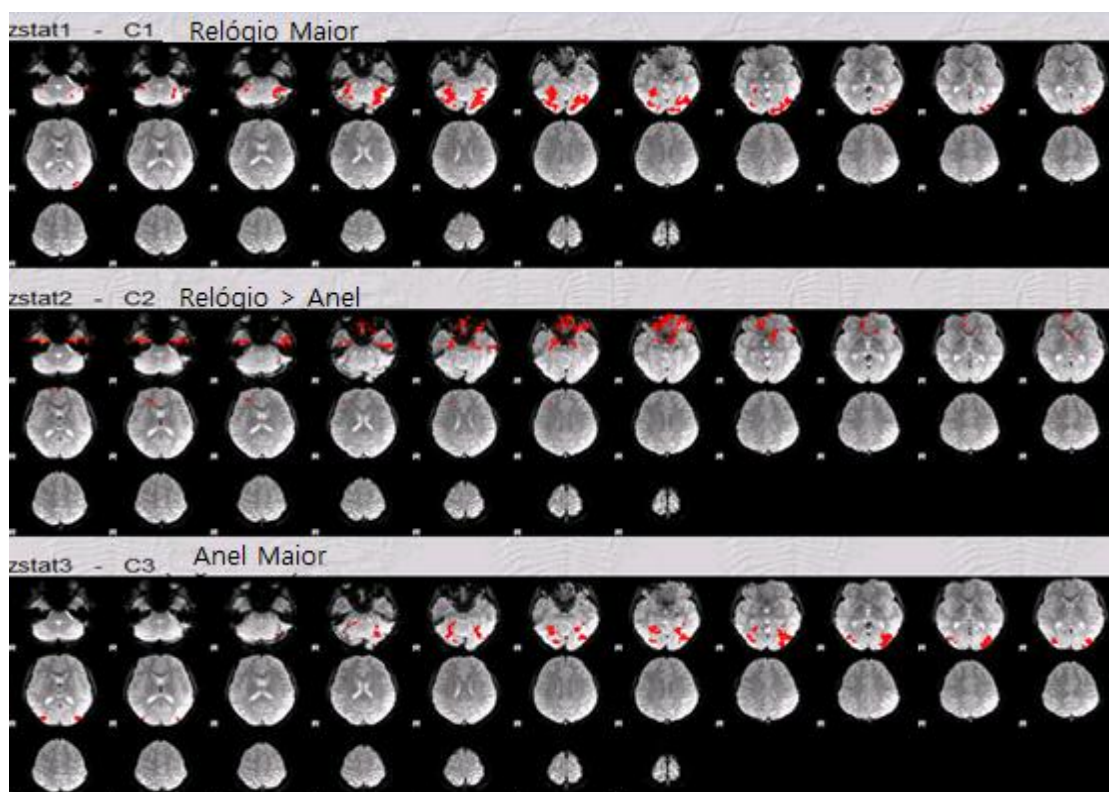
Estas condições foram escolhidas com o objetivo de demonstrar que o objeto furtado está relacionado com as condições que possuem maiores regiões de activação cerebral.

Condição	Zonas ativas pela visualização do/dos:
1	Relógio
2	Relógio > anel
3	Anel
4	Anel > relógio
5	Anel e relógio > outros objetos
6	Outros objetos
7	Outros objetos > relógio e anel

Tabela 3 - Representação das condições referentes às zonas de ativação durante a visualização dos diferentes objetos.

Participante número 1:

Objeto roubado: Anel



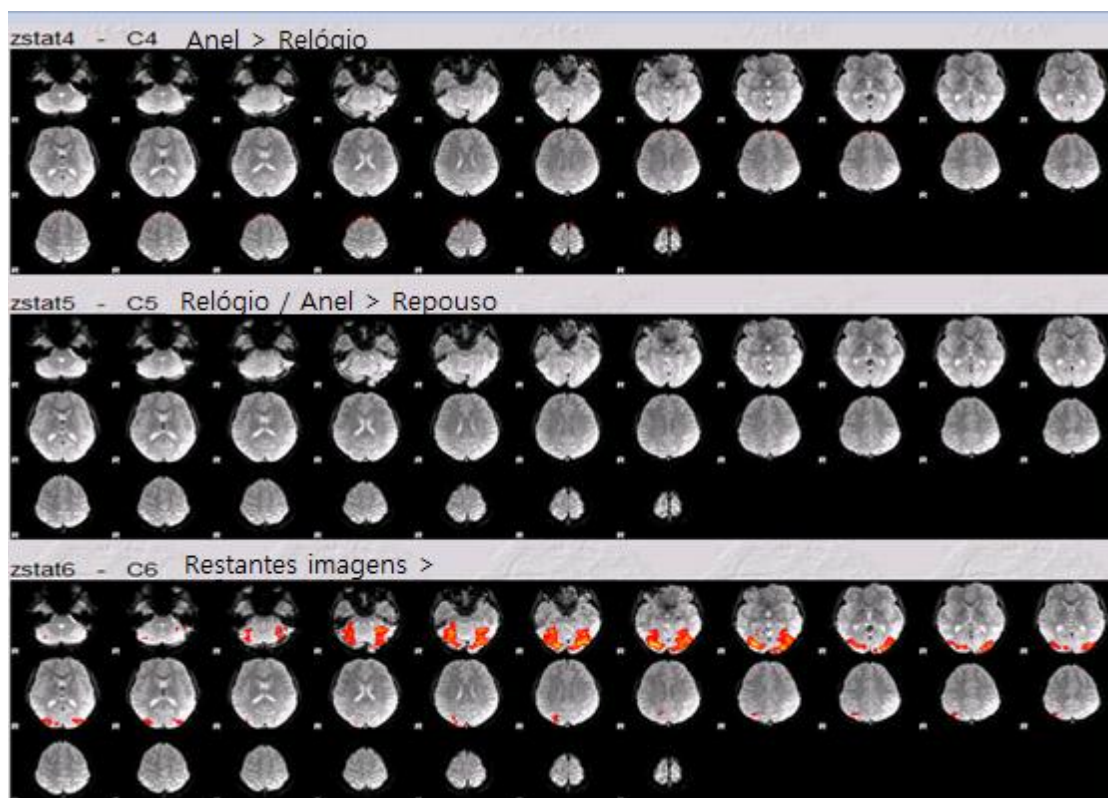


Figura 34 - Resultados obtidos não correspondem ao objeto roubado na realidade.

A região occipital está ativa na visualização de ambos os objetos. Durante a visualização do relógio existem áreas ativas na região temporal inferior, bilateralmente, na região frontal inferior e anterior bem como na região frontal média e anterior do lado direito. Durante a visualização do anel > relógio, existe ativação na região anterior do lobo frontal superior, bilateralmente.

Participante número 3:

Objeto roubado: relógio



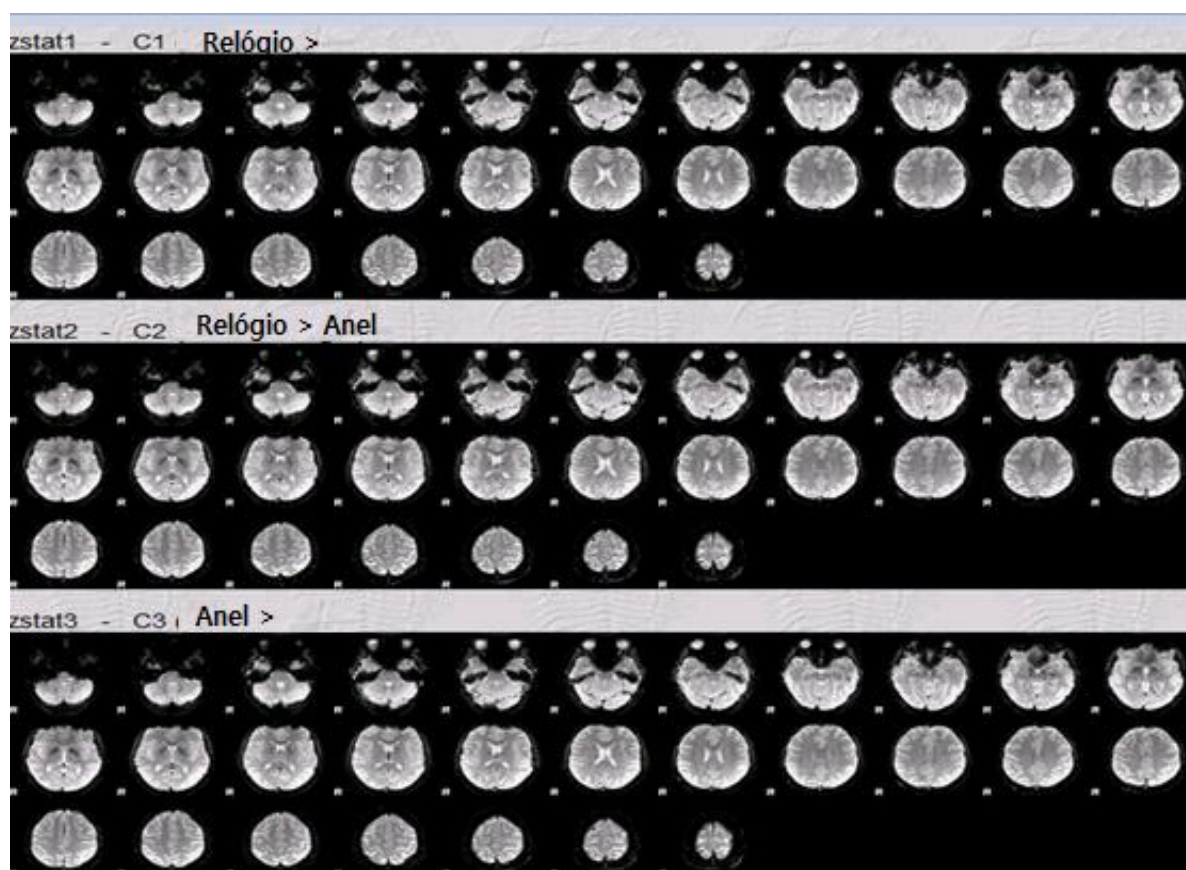
Figura 35 - Resultados obtidos não permitem aferir conclusões em relação ao objeto roubado (relógio).

Existem zonas ativas no giro pré central, durante a visualização do anel. Na condição Anel > relógio, a região cerebelar direita encontra-se ativa, bem como a região lateral do frontal direito, giro frontal médio, giro pré-central direito, giro pós central direito e esquerdo, e por fim, a região posterior do parietal direito.

Não existe ativação durante a visualização do relógio, não permitindo desta forma tirar conclusões corretas em relação ao objeto roubado (relógio).

Participante número 6:

Objeto roubado: Anel



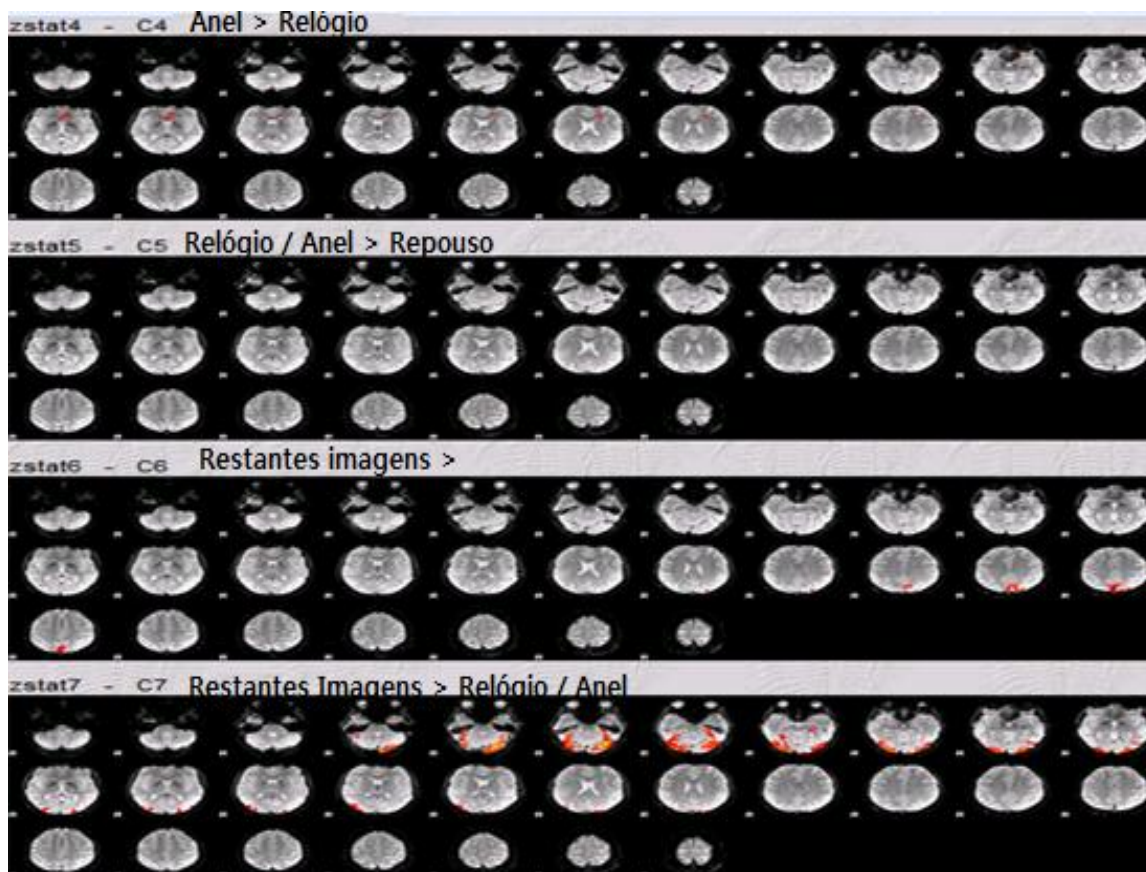


Figura 36 - Resultados obtidos permitem admitir que o objeto roubado foi o anel.

Subsistem pequenos focos de zonas ativas, na região medial do lobo frontal inferior e região do giro frontal inferior esquerdo, durante a visualização do anel. Por sua vez, não existem zonas ativas durante a visualização do relógio. Deste modo, é possível inferir que o objecto roubado foi o anel, o que corresponde à realidade.

Em suma, pode-se concluir que em 4 participantes os resultados do teste foram compatíveis com o objecto roubado e em 2 participantes não foi possível afirmar corretamente o objeto furtado. Os restantes 2 participantes foram excluídos do estudo por não se conseguir retirar qualquer conclusão.

As zonas predominantemente ativas nos participantes que “roubaram” o anel foram: frontal e lobo parietal direito. Por sua vez, as zonas ativas nos

participantes que “roubaram” o relógio são: região supra-orbitária, frontal, temporal esquerdo, parietal e cerebelo.

Na tabela seguinte (tabela 4), pode-se verificar um resumo das áreas ativas assinaladas com o símbolo ✓ que correspondem às áreas ativas, enquanto que o símbolo – corresponde às áreas inativas.

Participante	A-Objeto roubado B-Objeto não roubado	Frontal esquerdo	Frontal Direito	Temporal Esquerdo	Temporal Direito	Parietal Esquerdo	Parietal Direito	Giro pré-central, (1) Sulco Central (2) ou giro pós-central (3)
1	A -Anel	✓	✓	-	-	-	-	-
1	B -Relógio	-	✓	✓	✓	-	-	-
2	A-Relógio	✓	✓	-	-	✓	✓	-
2	B -anel	-	-	-	-	-	-	-
3	A - Relógio	-	-	-	-	-	-	-
3	B -anel	-	✓	-	-	-	✓	✓ (1D) ✓ (3D/E)
4	A - Relógio	-	-	✓	✓	✓	✓	✓ (2 e 3 D/E)
4	B -Anel	✓	✓	-	-	-	-	-
5	A - Relógio	-	-	-	-	-	-	-
5	B -anel	✓	-	✓	✓	-	-	-
6	A - Anel	✓	-	-	-	-	-	-
6	B -relógio	-	-	-	-	-	-	-
7	A - Anel B -Relógio	-	-	-	-	-	-	-
8	A - Anel	-	-	-	-	✓	✓	-
8	B -Relógio	-	-	✓	-	-	-	-

Tabela 4 - Áreas ativas durante a visualização do anel e do relógio. A letra "D" significa direito e a letra "E" significa esquerdo.

Imagens resultantes da análise das áreas ativas durante a visualização das perguntas:

As condições seguintes estão descritas na tabela, sendo o sinal > utilizado quando se pretende demonstrar que uma determinada região cerebral possui maior atividade que outra. Por exemplo, na condição 3, podem visualizar-se as zonas ativas na admissão do roubo do anel associada à subtração das regiões ativas na negação do roubo do mesmo. O raciocínio é idêntico para as restantes condições.

Condição	Zonas ativas pela:
1	Admissão do "roubo" do anel
2	Negação do "roubo" do anel
3	Admissão "roubo do anel" > Negação "roubo" do anel
4	Negação do "roubo" do anel > Admissão do "roubo" do anel
5	Admissão do "roubo" do relógio
6	Negação do "roubo" do relógio
7	Admissão do "roubo do relógio" > Negação do "roubo" do relógio
8	Negação do "roubo" do relógio > Admissão "roubo" do relógio
9	Perguntas de controlo

Tabela 5 - Condições durante a visualização das perguntas.

Tal como no paradigma anterior, é de esperar que no objeto furtado se verifique uma maior quantidade de regiões ativas, bem como uma ativação das regiões cerebrais que estão associadas à mentira.

Quando se verificam as condições admissão / negação, são utilizadas as perguntas de controlo como referência, de modo a controlar quais as regiões que estão ativas normalmente sem ser no momento da verdade / mentira.

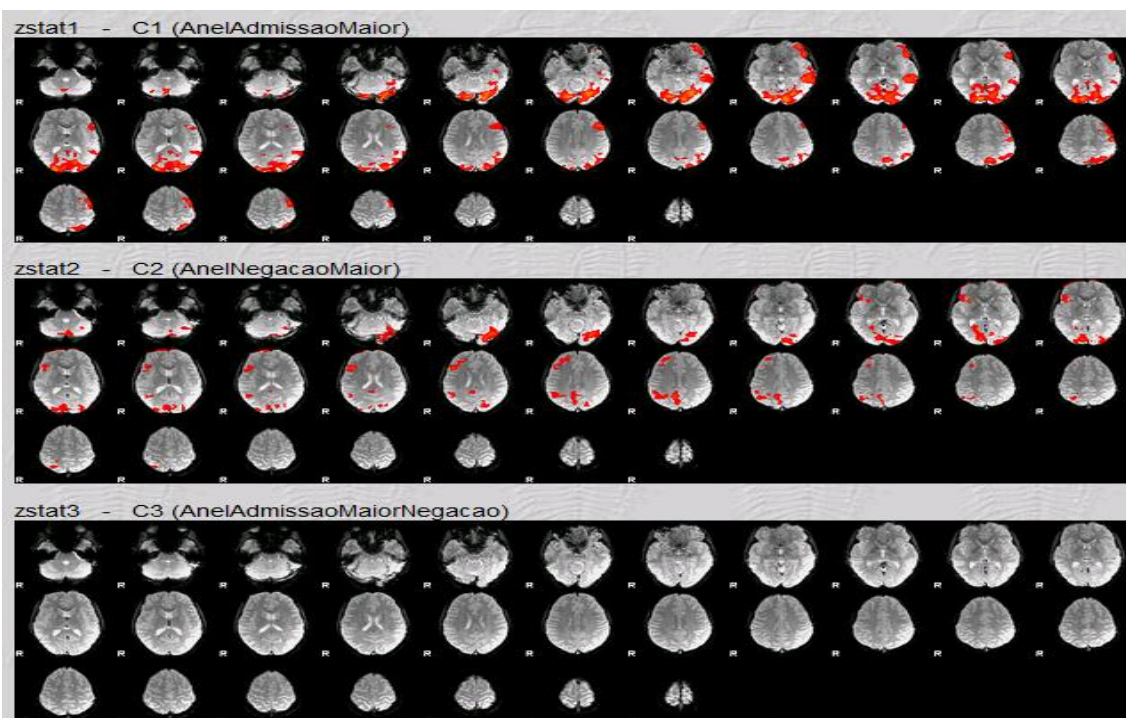
Realizou-se ainda a análise de outras condições que relacionam os dois objetos, bem como a relação de cada um dos objetos com as perguntas de controlo, na fase de admissão e na fase de negação.

Condição	Zonas ativas pela:
10	Admissão do "roubo" do anel > Admissão do "roubo" do relógio
11	Negação do "roubo" do anel > Negação "roubo" do relógio
12	Admissão "roubo" do relógio > Admissão "roubo" do anel
13	Negação do "roubo" do relógio > Negação do "roubo" do anel
14	Admissão do "roubo" do anel > Perguntas de controlo
15	Negação do "roubo" do anel > Perguntas de controlo
16	Admissão do "roubo do relógio" > Perguntas de controlo
17	Negação do "roubo" do relógio > Perguntas de controlo

Tabela 6 - Condições que relacionam os objetos entre si e os objetos com as perguntas de controlo.

Participante número 1:

Objeto roubado: anel



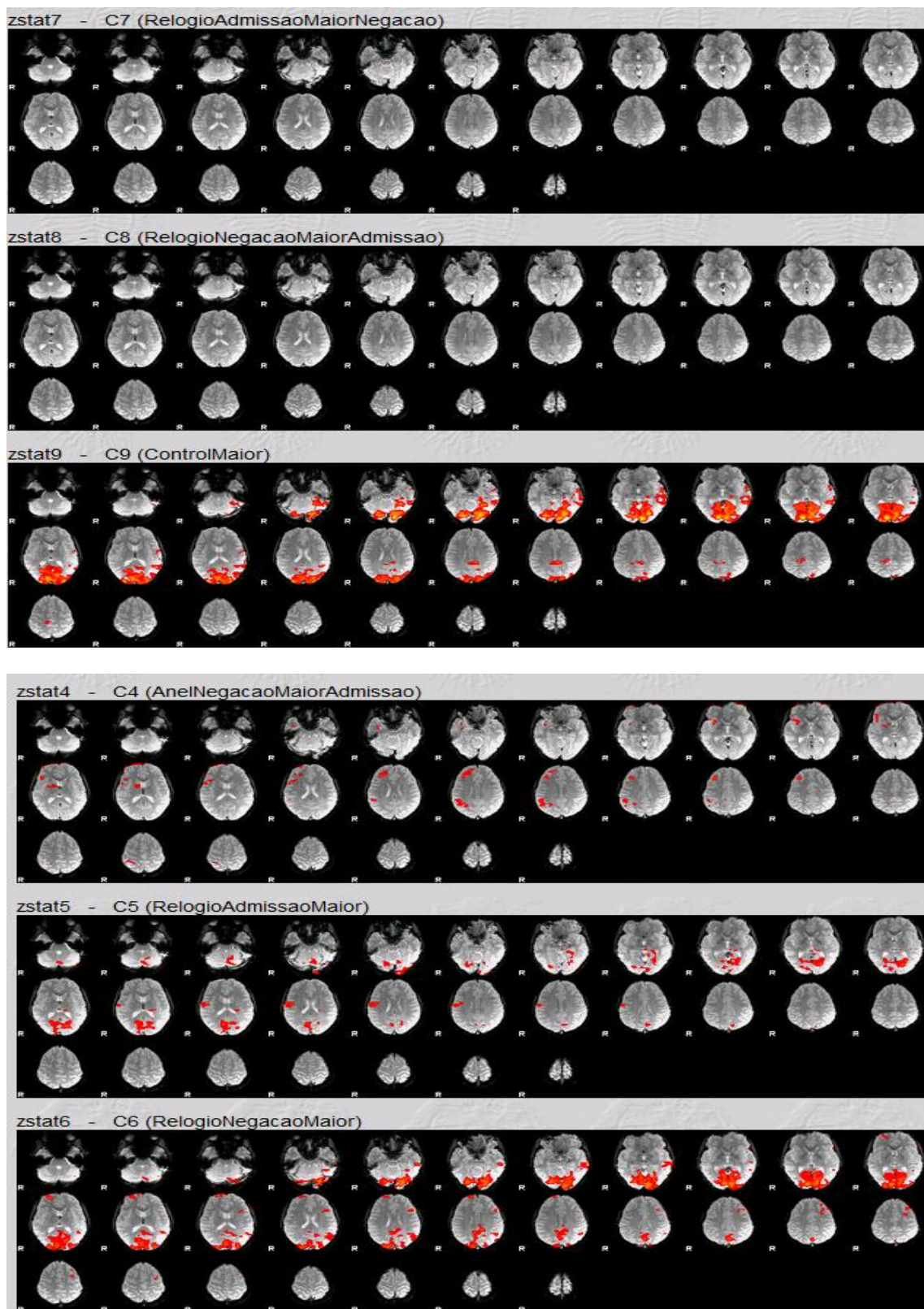


Figura 37 - Resultados correspondem ao objeto roubado (anel).

As regiões ativas durante a admissão do anel são: região medial e posterior do cerebelo, região medial e bilateral do lobo occipital, região supra-orbitária esquerda, região anterior do lobo frontal esquerdo, região lateral do lobo temporal esquerdo, giro pré-central, central e pós-central esquerdo e região posterior média e superior esquerda do lobo parietal.

Durante a negação do “roubo” do anel as áreas ativas são: região medial do cerebelo, região bilateral e inferior do occipital, giro frontal e superior direito, giro frontal médio direito, giro pré central direito, região lateral média do lobo frontal e região parietal inferior do lado direito.

Na condição: Anel negação > admissão, as áreas ativas são: região inferior temporal direita, região posterior e lateral do lobo frontal inferior direito, região anterior e lateral do lobo frontal médio direito, região anterior e lateral do lobo temporal direito, região posterior do lobo parietal médio e superior do lado direito.

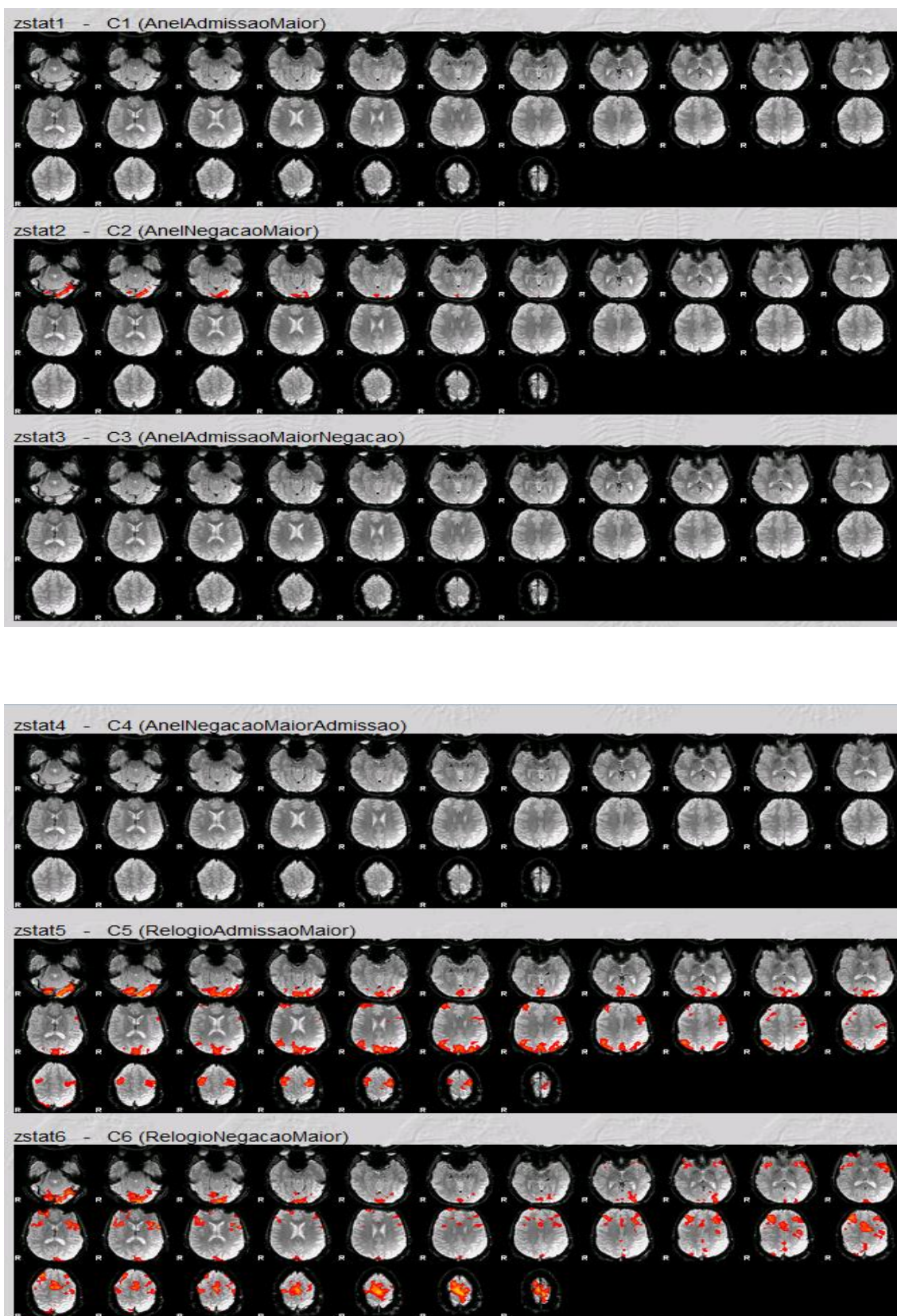
Durante a negação do relógio encontram-se ativas áreas como: a região posterior do cerebelo do lado direito, a região posterior do occipital, região medial do lobo temporal esquerdo e sulco central direito. Existem ainda focos de ativação na região posterior do lobo parietal medial e inferior do lado direito.

Conclusão: Devido às áreas ativas na negação do anel > admissão versus a inativação apresentada durante a negação do relógio > admissão, pode-se admitir que existe a possibilidade do participante ter roubado o anel.

Outro facto que permite admitir esta premissa, baseia-se na admissão do “roubo” do anel não possuir ativação, o que vai de encontro com o princípio do efeito BOLD. Isto significa que as suspeitas do participante ter roubado o anel se confirmam.

3º Participante:

Objeto roubado: relógio.



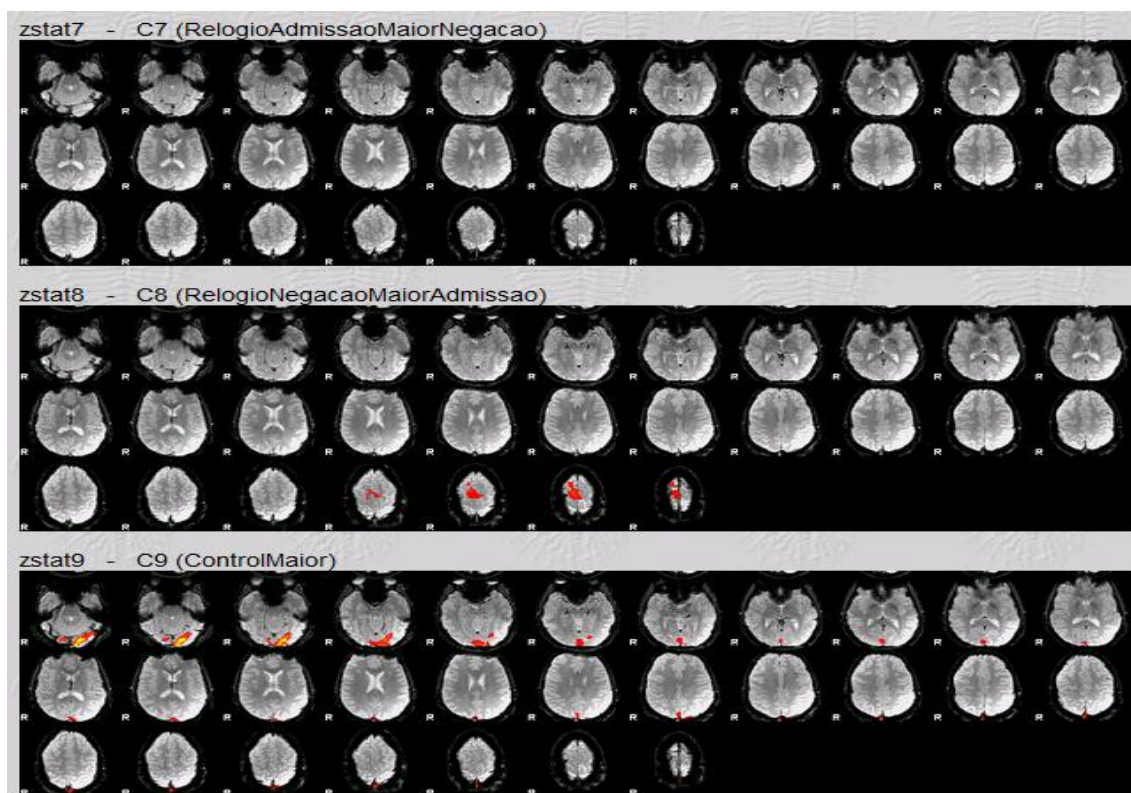


Figura 38 - Resultados correspondem ao objeto roubado (relógio).

Durante a negação do roubo do relógio, estão ativas zonas tais como: a região posterior do cerebelo (bilateralmente), a região posterior e medial do lobo occipital, a região inferior e anterior do lobo frontal do lado direito, a região inferior de ambos os lobos temporais, a região do sulco pré-central junto ao lobo temporal e parietal esquerdo, a região do sulco central do lado esquerdo, e por fim o lobo parietal superior (bilateralmente), na região lateral perto do sulco pré-central e sulco central.

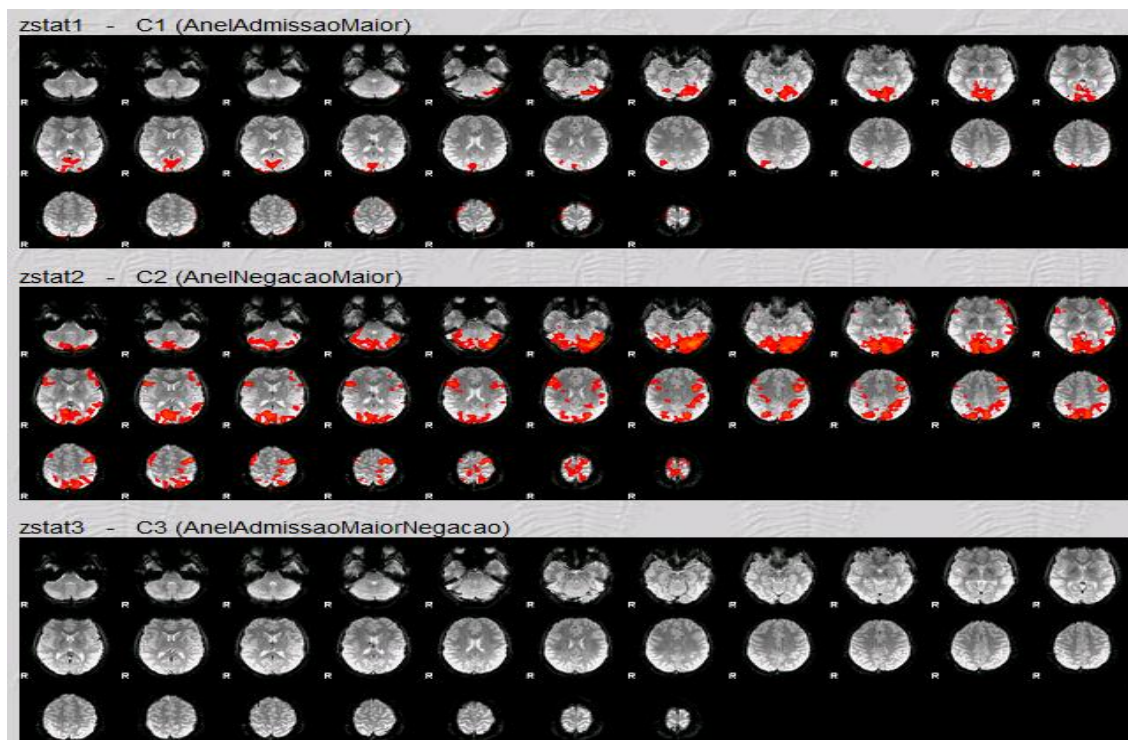
Durante a condição: negação > admissão do relógio, existe a ativação do lobo parietal superior, junto ao córtex central, mais predominantemente do lado direito.

A região superior do lobo parietal apresenta-se ativa durante a negação do “roubo” do relógio, enquanto que, na admissão do mesmo não existe ativação, o que vai de encontro com a teoria do efeito BOLD.

Por outro lado, durante a negação do roubo do anel > admissão (ou vice-versa) não existe ativação. Desta forma, pensa-se que o objeto roubado foi o relógio, o que coincide com a realidade.

Participante número 4:

Objeto roubado: relógio



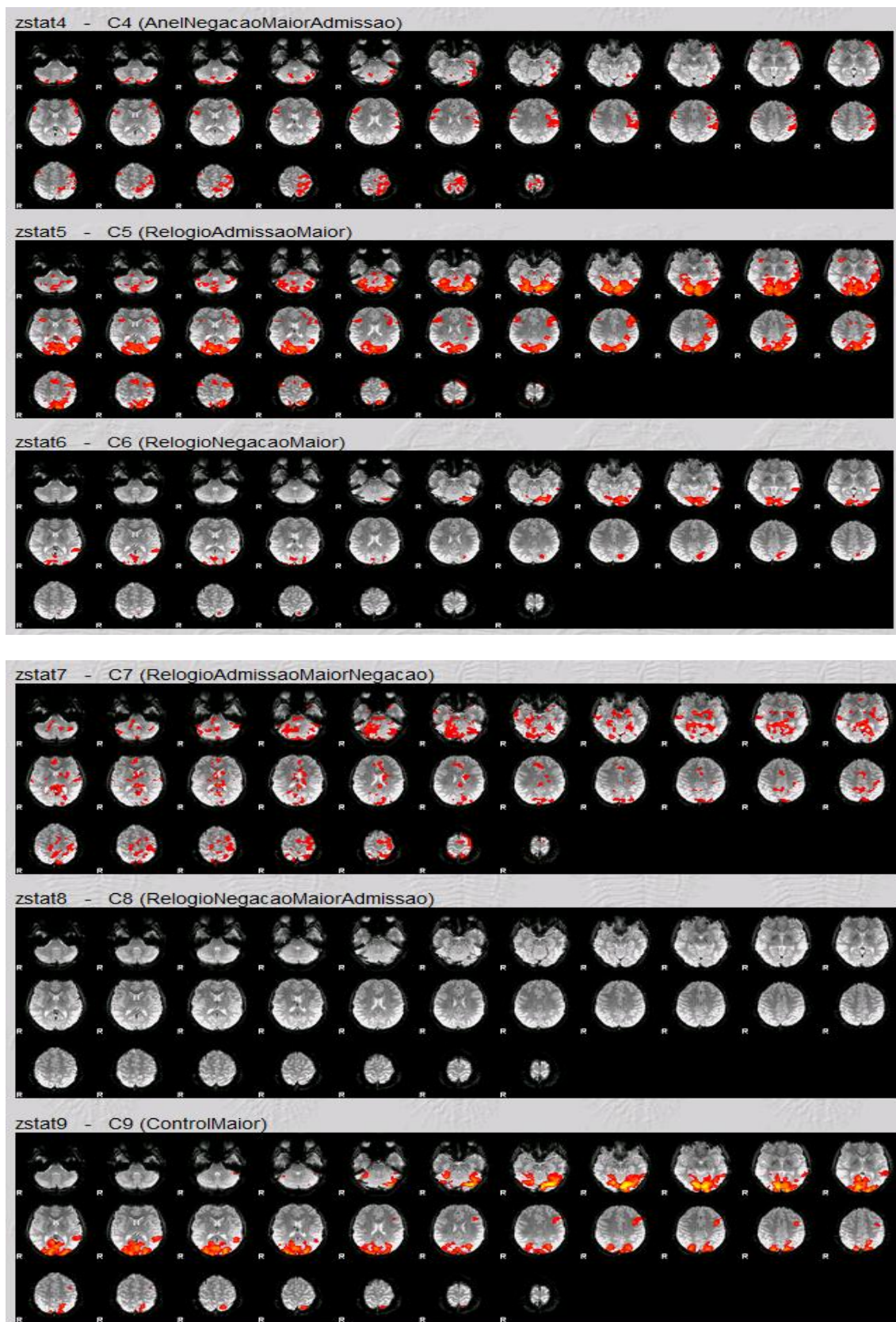


Figura 39 - Resultados correspondem ao objeto roubado (relógio).

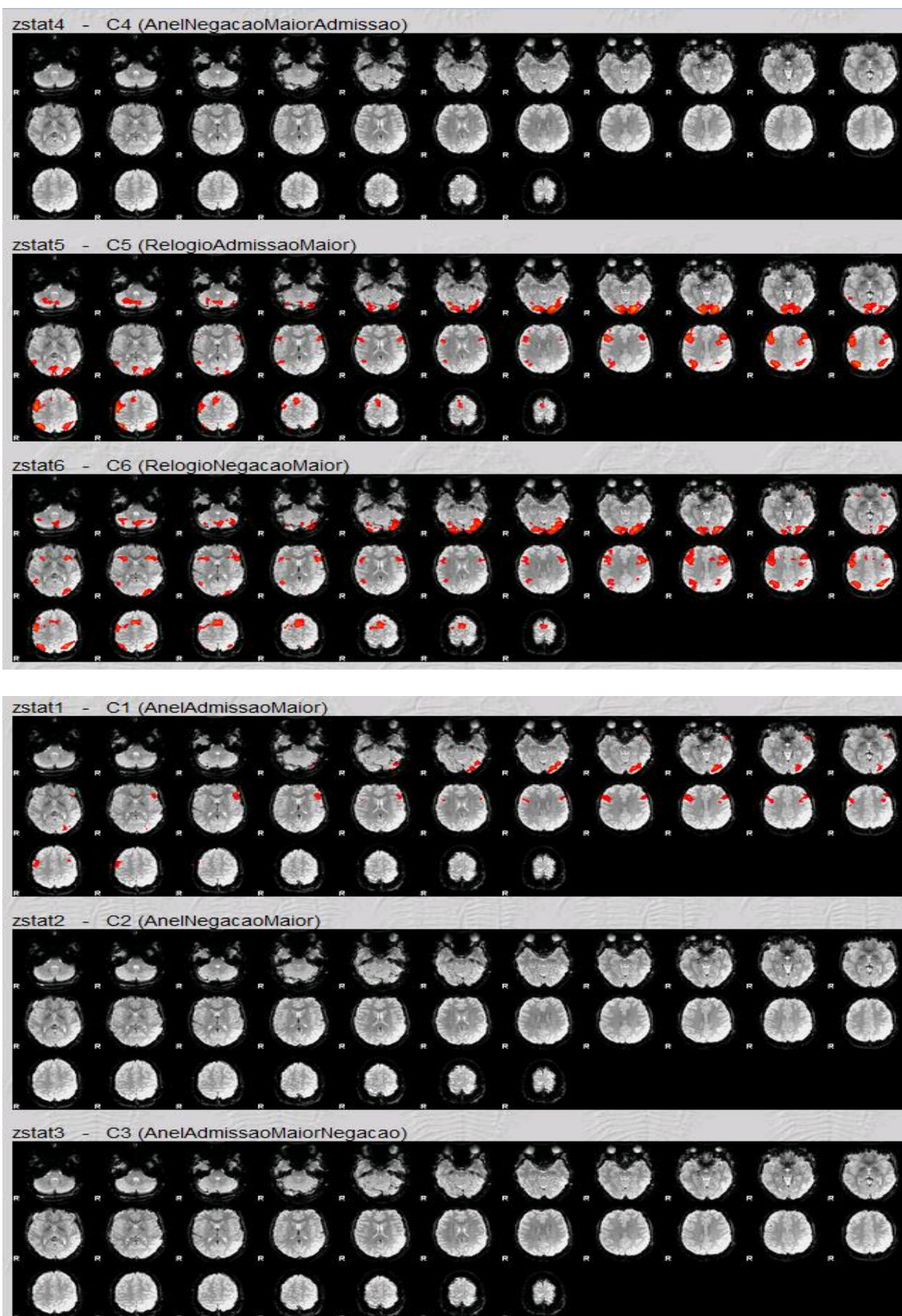
Durante a condição: Relógio Negação >, existem focos de ativação na região posterior do cerebelo do lado esquerdo, região posterior do occipital (bilateralmente), foco de ativação na região do sulco pós-central do lado esquerdo e na região posterior e inferior do lobo parietal do mesmo lado.

Ao comparar as condições: Anel Negação > Admissão, verificou-se atividade na região bilateral e posterior do cerebelo, região lateral do lobo temporal esquerdo (média e posterior). A região frontal inferior, na porção anterior e lateral também se encontra ativa bilateralmente. Outras regiões ativas são: o parietal anterior e lateral direito, a região média e lateral do parietal esquerdo, bem como o lobo parietal superior do mesmo lado.

Quando se subtrai as zonas de ativação durante a negação do anel, às zonas ativas durante a admissão do mesmo, pode-se constatar que existem regiões ativas, o que não acontece durante a negação do relógio > admissão. Este facto, baseado no efeito BOLD, leva-nos a admitir que o objeto furtado foi o anel. Contudo, existe uma particularidade, pois durante a negação do relógio o parietal encontra-se ativo. Esta é uma premissa que nos permite saber que o objeto roubado foi na realidade o relógio.

Participante número 8

Objeto roubado: Anel



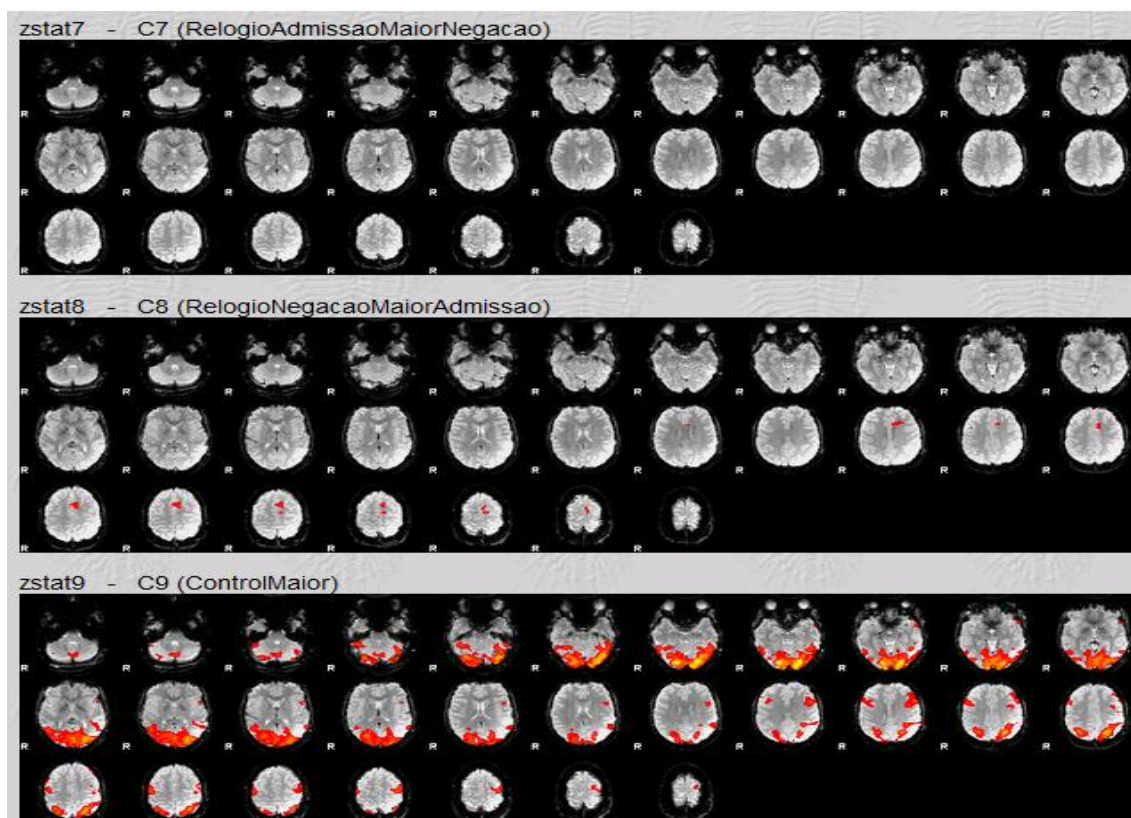


Figura 40 - Os resultados observados não permitem retirar as conclusões corretas no que diz respeito ao objeto roubado (anel).

Durante a premissa: relógio negação >, existe a ativação da região posterior do occipital e do cerebelo, bem como focos de ativação na região anterior dos lobos frontais. A região anterior e posterior dos lobos temporais (bilateral) e a região superior e anterior do lobo parietal, na região medial também estão ativas. Por sua vez, durante a negação > admissão do relógio, existe ativação da região anterior e medial do lobo parietal esquerda. Não existe ativação cerebral nas duas condições relativas à negação do roubo do anel.

Deste modo, devido às áreas ativas na negação > admissão no relógio, associada á inactividade no mesmo local durante as perguntas do “roubo” do anel, leva-nos a pensar que o objeto furtado foi o relógio. Exceccionalmente neste participante, não se verifica nenhum sinal que contradiga estes factores, pelo que se pode pensar, erradamente, que estas condições referidas anteriormente são verdadeiras.

Na tabela seguinte (tal como na anterior), pode-se verificar um resumo das áreas ativas assinaladas com o símbolo ✓ que correspondem às áreas ativas, enquanto que o símbolo – corresponde às áreas inativas.

Participante	A-Objeto roubado B-Objeto não roubado	Frontal esquerdo	Frontal Direito	Temporal Esquerdo	Temporal Direito	Parietal Esquerdo	Parietal Direito	Giro pré-central, (1) Central (2) ou pós-central (3)
1	A-Anel	✓	✓	-	-	-	-	-
1	B-Relógio	-	✓	✓	✓	-	-	-
2	A-Relógio	✓	✓	-	-	✓	✓	-
2	B-Anel	-	-	-	-	-	-	-
3	A-Relógio	-	-	-	-	-	-	-
3	B-Anel	-	✓	-	-	-	✓	✓ (1D) ✓ (3D/E)
4	A-Relógio	-	-	✓	✓	✓	✓	✓ (2 e 3 D/E)
4	B-Anel	✓	✓	-	-	-	-	-
5	A-Relógio	-	-	-	-	-	-	-
5	B-Anel	✓	-	✓	✓	-	-	-
6	A-Anel	✓	-	-	-	-	-	-
6	B-Relógio	-	-	-	-	-	-	-
7	A-Anel B-Relógio	-	-	-	-	-	-	-
8	A-Anel	-	-	-	-	✓	✓	-
8	B-Relógio	-	-	✓	-	-	-	-

Tabela 7 - Áreas ativas durante o paradigma das imagens. A letra "D" corresponde a direito e a letra "E" significa esquerdo.

Tempos de Reação

A tabela número 8 apresenta a média dos tempos de reação de cada participante, durante a negação do “roubo” do objeto escolhido para furtar. Pode-se observar que em sete dos participantes os tempos de reação foram mais curtos quando negaram o “crime” cometido.

Participante / Objeto furtado	Tempo de reação (milissegundos)/ Negação anel	Tempo de reação (milissegundos)/ Negação do relógio
1 - Anel	672.3	970.6
2 - Relógio	820	779.3
3 - Relógio	947.5	687.8
4 - Relógio	882.2	939.3
5 - Relógio	747.6	574.4
6 - Anel	795.9	907.1
7 - Anel	846.9	1057.1
8 - Anel	511.1	787.8

Tabela 8 - Tabela que demonstra os tempos de reação no paradigma das perguntas.

É fundamental que durante a realização de estudos em voluntários, se analise de forma crítica todos os dados obtidos, para que nenhum dos participantes realize a tarefa de forma incorreta. Caso isto suceda, é necessário excluir os dados adquiridos para evitar erros no estudo.

No que diz respeito ao teste das imagens do 1º participante, apesar de existirem áreas ativas durante a visualização do relógio e anel, existem igualmente maiores áreas ativas durante a visualização do relógio, na região frontal e temporal, em comparação com o anel. Este facto leva-nos a conclusões erradas, pois o relógio não foi o objeto furtado.

Por outro lado, no 2º participante podem observar-se zonas ativas no frontal e occipital durante a visualização do relógio. Não existem igualmente zonas ativas durante a visualização do anel e visualiza-se uma maior atividade cerebral durante a visualização do relógio. Estes factos levam-nos a querer que o objecto “roubado” foi o relógio, o que coincide com a realidade.

No 3º participante, existem zonas ativas e em maior quantidade no temporal e occipital durante a visualização do anel. Por outro lado, como durante a visualização do relógio não existe ativação, pode-se induzir que o objeto roubado foi o anel. Todavia, as áreas ativadas pelo anel não estão associadas à mentira, não permitindo desta forma tirar conclusões, pelo que se procedeu à exclusão deste participante.

No participante número 4, podem visualizar-se zonas ativas no cerebelo, lobo temporal e parietal (bilateralmente), durante a visualização do relógio, o que nos guia de forma correta para o objeto roubado (relógio).

Um dos outros participantes (participante 5) possui zonas de ativação na região frontal, supra-orbitária e temporal esquerda, o que nos leva a crer que o objeto roubado foi o anel, auxiliado pelo facto das zonas ativas pelo relógio não terem qualquer tradução. No entanto, esta premissa é falsa, pois o objeto furtado foi o relógio.

Pelo contrário, também o 6º participante possui zonas ativas na região supra-orbitária e frontal esquerda, durante a visualização do anel, associada à inexistência de áreas ativas durante a visualização do relógio. Contudo, ao contrário do participante anterior, o anel é o objeto roubado e este facto pode-se concluir através da análise destas imagens.

As imagens referentes ao participante número 7 foram excluídas por se aferir que não existiam áreas ativas durante a visualização de qualquer um dos objetos. Este facto é justificado por existir um grande artefacto de movimento, no decorrer desta sequência, o que impossibilita a localização das áreas cerebrais ativas.

No último participante, existem mais áreas ativas na região parietal e temporal direita durante a visualização do anel, pelo que se pode aferir que o objeto roubado foi o anel.

Deste modo, é possível concluir que em 67% dos participantes (4 em 6 voluntários) foi possível retirar conclusões corretas em relação ao objeto roubado. Pelo contrário, em 33 % dos casos (2 em 6 voluntários) não se conseguiu comprovar qual o objeto furtado, o que contribui para fragilizar a utilização deste paradigma.

As zonas predominantemente ativas nos voluntários que “roubaram” o anel foram: frontal e lobo parietal direito. Por sua vez, as zonas ativas nos participantes que “roubaram” o relógio são: frontal, temporal esquerdo, parietal e cerebelo.

No paradigma das imagens, para aferir se os participantes estão a mentir, o ideal é comparar as áreas ativas da negação com as da admissão, entre um e outro objeto. Desta forma, se um dos objetos apresentar zonas ativas na negação que não existam no objeto contrário, pode-se admitir a possibilidade deste participante ter furtado esse objeto. Esta premissa vai de encontro com o princípio do efeito BOLD e é um dos padrões de ativação que denunciam o objeto roubado.

Ao analisar-se os resultados, verificou-se que no participante 1, 2 e 3, não existem dúvidas em relação ao objeto roubado pois as áreas associadas à negação deste objeto estão bastante ativas, o que vai de encontro ao padrão de ativação referido anteriormente.

No participante 4, 5, 6 e 7, apesar de existirem áreas ativas durante a negação de outro objeto que não o furtado, verifica-se a ativação do parietal na negação do objeto roubado. Este facto é muito importante e tem de ser tido em conta, visto que esta é uma área cerebral associada à mentira, fazendo deste padrão o segundo padrão de ativação durante a mentira.

Contudo, no último participante (número 8), o objeto roubado foi o anel e não existem áreas ativas que nos permitam afirmar tal sentença, visto que todas as áreas ativas durante a negação correspondem ao relógio.

Percebidos os padrões de ativação gerais, discutiremos agora outros motivos que podem ter levado a estas conclusões.

No participante número 4, durante a condição: admissão do relógio, não existem zonas ativas (à excepção do occipital), o que poderá ir de encontro com o efeito BOLD e ser portanto verdade que este participante “roubou” o relógio. Pelo contrário, durante a admissão do anel existem muitas áreas ativas, o que pelas mesmas razões descritas anteriormente, vai contra o princípio do efeito BOLD, que refere que durante a verbalização da verdade, as áreas ativas são em menor número ⁽¹⁾.

Durante a análise do participante 6, é igualmente possível verificar que existem zonas ativas quando se observa a condição: negação do relógio >

admissão. De forma idêntica, também se confirma a não ativação do relógio durante a condição: admissão > negação. Em relação ao anel, não se verificam zonas ativas em nenhuma destas premissas, o que nos induz em erro. Contudo, se observarmos ao pormenor, verificamos que durante a ativação do anel, o parietal esquerdo encontra-se ativo, o que vai de encontro com a literatura ⁽²³⁾, que referencia esta área como ativa durante a mentira.

No participante número 7, apesar de não existirem zonas de ativação na negação > admissão em qualquer um dos objetos, pode-se concluir através da ativação singular da região parietal direita (já anteriormente associada à mentira ⁽²³⁾), que o objeto roubado foi o anel.

No último participante não se visualiza nenhum comportamento que nos encaminhe para a resposta correta. Isto pode dever-se a qualquer movimento que apesar de não ter sido detetado durante o pós-processamento, a verdade é que subsiste a possibilidade de tal ter acontecido (mesmo que mínimo), o que poderá ocultar uma verdadeira ativação cerebral, induzindo a falsos negativos ⁽⁴⁾.

Desta forma, só é possível ter a certeza do objeto roubado em 87,5 % dos participantes (7 voluntários em 8). Em apenas um participante não se conseguiu descobrir no objeto furtado.

Durante o estudo muitas vezes foi observada a ativação do lobo temporal, pois os paradigmas utilizados estimulam a memória verbal e visual, correspondendo a regiões de ativação no lobo temporal esquerdo e direito respectivamente ^(9,10).

Uma das razões que pode ter levado a que os lobos frontais estivessem várias vezes despertos, prende-se com a sua associação à memória episódica. Também o córtex pré-frontal representa funções de comportamento e memorização.

Contudo, o lobo associado à mentira e já comprovado em estudos anteriores ⁽²³⁾ foi o lobo parietal, que permitiu durante a dúvida desmistificar o objeto roubado. Nos resultados obtidos no paradigma das perguntas, o lobo

parietal superior é o que está mais ativado durante a mentira, ao contrário do lobo parietal inferior. A porção medial e posterior do lobo parietal, encontra-se ativas mais vezes que a região anteriormente descrita (região inferior), mas menos vezes que a região superior do mesmo.

Um dos factos que pode ter contribuído para não se conseguirem resultados mais evidentes e em 100% dos casos, relaciona-se com o rigor deste estudo, pois não se confirmou por testes laboratoriais a presença de substâncias químicas no organismo. Este factor pode ser relevante, pois os efeitos dos medicamentos no cérebro não são ainda conhecidos ⁽²⁸⁾.

Outra das causas pode estar associada ao movimento que pode causar artefactos, ao cansaço por parte dos participantes, ou à fraca concentração. É importante não esquecer que este é um exame demorado e que requer ainda tempo dispensado no exterior da sala de RM, para a preparação e compreensão do estudo.

É possível que o factor mais limitante seja a dimensão reduzida da amostra, pois torna-se difícil globalizar os resultados e procurar uma generalização que se possa aplicar em qualquer caso.

Como foi possível constatar, não se fez referência às condições que relacionavam os objetos entre si, bem como às condições entre os objetos e as perguntas de controlo pois os resultados obtidos nesta análise não eram concordantes entre si.

Quanto às perguntas de controlo, apresentaram quase sempre como regra uma ativação na região do lobo occipital e do cerebelo, pelo que não se pode associar nenhuma destas áreas com as falsas afirmações.

Por outro lado, durante a admissão, existem várias zonas cerebrais ativas dispersas por ambos os hemisférios cerebrais (e.g: lobo frontal).

O formato de perguntas de design misto ⁽²⁹⁾ revela significativas áreas de ativação, tais como a região referente ao hemisfério direito: região orbito-frontal; a região frontal inferior; a região média frontal e as regiões do giro

cingulado⁽²⁹⁾. Contudo, no caso deste estudo, a região frontal inferior e média frontal, está ativa tantas vezes na negação do objeto roubado como na negação do objeto não roubado.

Ao combinarmos os dois métodos de detecção da mentira obtemos a seguinte tabela (tabela 9).

Participante / Objeto furtado	Objeto furtado / Paradigma das imagens	Objeto furtado/ Paradigma das perguntas
1 - Anel	Relógio	Anel
2 - Relógio	Relógio	Relógio
3 - Relógio	?	Relógio
4 - Relógio	Relógio	Relógio
5 - Relógio	Anel	Relógio
6 - Anel	Anel	Anel
7 - Anel	?	Anel
8 - Anel	Anel	Relógio

Tabela 9 - Resumo dos objetos roubados nos dois paradigmas.

Ao observarmos a tabela, pode-se constatar que o paradigma de imagens não conseguiu chegar a nenhuma conclusão em 25% (2 em 8 voluntários) e errou o objeto roubado em 33 % dos casos (2 em 6 voluntários). Pelo contrário, o paradigma das perguntas possui uma percentagem de erro de 12,5%, mostrando-se desta forma mais eficaz na detecção da mentira do que o paradigma de imagens.

O paradigma das perguntas teve a capacidade de descobrir os objetos furtados, quando o paradigma das imagens não teve a capacidade de o fazer. Por sua vez, também o paradigma das imagens conseguiu decifrar corretamente o objeto roubado, quando o mesmo não foi possível pelo paradigma das questões (participante número 8).

Em relação aos tempos de reação, os resultados demonstram que os tempos de resposta mais lentos dizem respeito às perguntas relacionadas com a verdade. Isto significa, que todas as pessoas que demoraram mais tempo a responder às perguntas do anel, tinham roubado o relógio.

Em concordância com os estudos efectuados, também no caso do nosso estudo 87,5% dos nossos participantes responderam mais rapidamente às perguntas do objeto furtado. Isto significa, que apenas um dos participantes demorou mais tempo a responder às perguntas do objeto furtado, em comparação com o outro objeto (não roubado).

Em suma, se conciliarmos o paradigma das perguntas com as informações referentes aos tempos de reação de cada participante, diminui a taxa de erro que pode ser cometida, ao tentar descobrir a verdade.

É essencial fazer estes testes com um número maior de participantes, utilizar outros paradigma e criar outros cenários, que sejam o mais idênticos possíveis à realidade. O resultado alcançado está dependente da realização correcta do paradigma.

Para finalizar é interessante referir que 100% dos participantes responderam no questionário final, que o estudo pode trazer mais-valias no futuro e que se sujeitariam de novo a um teste semelhante, no caso de ser necessário provar a própria inocência

Capítulo 7

CONCLUSÕES

Hoje em dia, a Ressonância Magnética é amplamente utilizada, principalmente nos ramos da medicina clínica e da pesquisa científica ⁽¹⁵⁾.

Deste modo, com a ajuda da técnica BOLD, é hoje em dia possível verificar através das afirmações de um indivíduo, se estas são ou não verdadeiras. Tal como se pode concluir com este estudo, atualmente é possível saber quando um indivíduo se encontra a mentir. Esta técnica complexa deve ser aplicada cuidadosamente, de acordo com o paradigma que se tenciona estudar.

De acordo com o paradigma utilizado neste estudo, a área principal que está associada à mentira é o lobo parietal. Ao comparar-se os dois paradigmas, constatou-se que a deteção de mentira através das questões abordadas é mais eficiente do que o paradigma de exposição de imagens. Os tempos de reação também se revelaram importantes, tendo em conta que o indivíduo que está a mentir demora menos tempo a responder do que um indivíduo que está a dizer a verdade.

Apesar de existirem ainda limitações de estudo no que diz respeito à investigação da RMf individual, esta é essencial para tornar este método uma ferramenta fiável e útil para detetar a mentira num futuro próximo.

Face aos resultados obtidos neste trabalho, e tendo em conta todas as limitações deste estudo e dos caminhos ainda por trilhar, acreditamos que a RMf seja uma técnica promissora na deteção da mentira e com potencial futuro para revelar os segredos da mente.

Sendo assim, tal como todos os desenvolvimentos úteis e recentes, deve ser dada uma oportunidade a esta técnica de imagem, para desmistificar e enaltecer o seu valor.

7.1 Limitações e perspectivas futuras

Apesar do sucesso da RMf para detetar a mentira, a utilização de uma pequena amostra nos estudos pode comprometer a generalização dos dados / resultados obtidos. A causa deste factor deve-se ao elevado tempo de exame e aos elevados custos de realizar RM ⁽¹⁾. O usual é obter uma amostra da população de cerca de 10 a 20 indivíduos para estudos experimentais de RM que não é representativa da população.

Este facto, associado ao de serem normalmente os próprios investigadores ou colegas que se disponibilizam como voluntários, pressupõe que a maioria dos participantes tenha um elevado nível de escolaridade e um coeficiente de inteligência mais elevado que o normal ⁽¹⁵⁾.

O presente estudo encontra alguns obstáculos pelo facto de não existir um padrão ou um grupo de controlo, de modo a comparar os dois. Alguns participantes revelaram ainda dificuldades em responder acertadamente a todas as questões, por confundirem por vezes os botões presentes na caixa de respostas. O tempo elevado de exame também pode ter causado algum cansaço.

Em estudos futuros, é essencial a utilização de equipamentos de RM com intensidades de campo magnético iguais ou superiores a 3,0 T. Apesar dos equipamentos de 1,5 T serem os mais frequentes nos serviços de Imagiologia e possibilitarem uma avaliação credível da atividade cortical, os equipamentos de alto campo permitem a obtenção de imagens funcionais, a visualização de estruturas subcorticais e do tronco cerebral. Em suma, quanto mais elevado for o campo magnético, maior será o sinal ⁽²⁷⁾.

Investigar e replicar estudos em populações onde estão presentes mentirosos patológicos, doentes com alterações e lesões cerebrais, será uma área interessante de estudar futuramente, de modo a compreender de que forma é que estas alterações se refletem neste campo de atuação.

Seria aliciente no futuro, realizar-se todo este estudo com maior rigor. Isto implicaria que todos os participantes fornecessem uma amostra de urina para verificar a existência de drogas ilegais, visto que estas podem causar alterações do sistema nervoso e portanto comprometer os resultados. No caso das mulheres em idade fértil, é necessário averiguar uma possível gravidez, pois os efeitos da RM não são conhecidos em gestantes ⁽²⁹⁾.

São bem aceites todos os estudos, que incluam outras técnicas com capacidade de se associarem à RMf, para detetar a mentira. Seria interessante associar os registos de EEG para completar a aquisição de imagens efetivada pela RMf.

Os experimentos futuros prevêm a necessidade de reproduzir estudos em situações reais de perigo. É indispensável, utilizar testes mais realistas para melhorar a utilidade desta tecnologia e poder aplicá-la no contexto real ⁽¹⁾.

Devem ainda ser realizados estudos com indivíduos de todas as idades, de modo a verificar de que forma este fator influencia os estudos da deteção da mentira ⁽¹⁾.

Capítulo 8

Referências Bibliográficas

1. Bizzi, E., Hyman, S. E., Raichle, M. E., Kanwisher, N., Phelps, E. A., Morse, S. J., Rakoff, J. S. Using Imaging to Identify Deceit Scientific and Ethical Questions Using Imaging to Identify Deceit : Scientific and Ethical Questions. American Academy of Arts and Sciences. Cambridge. 2009.
2. Van de Graff, K. Anatomia Humana. (6ª Edição). São Paulo: Manole. 2003.
3. Mader SS. Understanding Human Anatomy & Physiology (pp. 146-157). (5ª Edição). The McGraw–Hill Companies. 2004.
4. Habib, M. Bases Neurológicas dos Comportamentos (pp. 54-129). Bases Neurológicas dos Comportamentos. (1ª Edição). Lisboa: Climepsi. 2000.
5. Baert A.L., Knauth M., Sartor K., Clinical Functional MRI (pp. 54). Berlin:Springer. 2000.
6. Pereira JR., Reis Ana M., Magalhães Z. Neuroanatomia Funcional: Anatomia das áreas activáveis nos usuais paradigmas em ressonância magnética funcional. (pp. 107-116). 2003.
7. Machado A., Neuroanatomia funcional. (2ª Edição). Rio de Janeiro: Atheneu. 2000.
8. Tamraz JC., Comair YG., Edition S. Atlas of Regional Anatomy of the Brain Using MRI. (pp. 117-133). 2000.
9. Araújo, Dráulio B., Sobre Neuroimagens Funcionais por Magnetoencefalografia e Ressonância Magnética: Novos Métodos e Aplicações. Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto. 2002.
10. Fernandes, Henrique. Optimização dos Parâmetros de Processamento de Imagem Funcional na Aquisição Simultânea EEG/IfRM em Epilepsia Focal. UNL - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa. 2007.
11. Seeley, Rod R., Stephens, Trend D., Tate, Philip. Anatomia & Fisiologia. (3ª Edição). Lusodidacta. 2005.

12. Silverthorn D. U, Silverthorn A.C., Fisiologia Integrada uma abordagem integrada. (2º Edição). Manole. 2003.
13. Esperança Pina, J.A. Anatomia da Relação. (3ª Edição). LIDEL.
14. Paulo, S., Claudinei Eduardo Biazoli Junior Inferência do tempo de atividade neural a partir do efeito BOLD em ressonância magnética funcional. Faculdade Medicina da Universidade São Paulo, Brasil. 2010.
15. Aten, E. P., Estudo Por Magn, N., & Funcional, T. Regulação emocional pela atenção : um estudo de neuroimagem por ressonância magnética funcional. 2009.
16. Nunes, P. R., Ressonância Magnética funcional - mapeamento do córtex motor através da técnica BOLD Ressonância Magnética funcional - mapeamento do córtex motor através da técnica BOLD. Lisboa, Portugal. 2009
17. Reiser MF., Semmler, W., Hricak H., Magnetic Resonance Tomography, (pp. 1292-1294). Berlim: Springer. 2008
18. Covolan, R., Araújo, D. B. D., Carlos, A., Ressonância Magnética Funcional: as funções cerebrais reveladas por spins nucleares. (pp. 664-666). (4022). 2002.
19. Mazzola, A. A. Ressonância Magnética: princípios de formação da imagem. 2009
20. Mulert C., Lemieux L., EEG - fMRI: Physiological Basis, Technique, and Applications. (pp. 57-82). London: Springer. 2010.
21. Faro S., Mohamed F., Functional MRI: Basic principles and clinical applications. (pp. 3-56). New York: Springer. 2006
22. Edelman, Robert., Hesselink, John., Zlatkin, Michael., Clinical Magnetic Resonance Imaging. (3ª Edition). Saunders. 2005.
23. Davatzikos, C., Ruparel, K., Fan, Y., Shen, D. G., Acharyya, M., Loughhead, J. W., Langleben, D. D., Classifying spatial patterns of brain activity with machine learning methods: application to lie detection. NeuroImage, 28(3). 2005.

24. Brian Reese, Using fMRI as a Lie Detector – Are We Lying To Ourselves. (pp 205-230). Albany Law Journal of Science & Technology. 2009.
25. Alexander, A., LI, M., Functional Magnetic Resonance Imaging Lie Detection : Brainstorm . 2007 (pp 1–56).
26. No Lie MRI, <http://www.noliemri.com/>, 2006. Consultado em 5 Agosto de 2013.
27. Porter, S., Brinke, L., The truth about lies: What works in detecting high-stakes deception. (pp 57–75). Legal and Criminological Psychology, 2010. Cephos corporation, <http://cephosdna.com/>, consultado em: 5 Agosto de 2013
28. Steven J Laken., Stimuli Presentation Modification Improves Diagnostic Accuracy at the Individual Level for Functional MRI Detection of Deception., Elsevier Editorial System for NeuroImage. USA. 2012.

APÊNDICE

ANEXO 1

QUESTIONÁRIO DE SEGURANÇA PARA REALIZAÇÃO DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA

Nome _____

Idade _____ Peso _____

Descreva o motivo para realizar a Ressonância Magnética:

Já realizou alguma cirurgia? Se sim, quais?

É portador de alguma das seguintes condições:

Pacemaker Cardíaco ()Sim ()Não

Clips de Aneurisma ()Sim () Não

Stents ou válvula cardíaca artificial ()Sim ()Não

Membro artificial ou placa metálica ()Sim ()Não

Trabalha com metal ou já teve algum metal removido dos olhos? ()Sim ()Não

Tem algum implante médico (metálico ou outro)? ()Sim ()Não

Alguma vez já foi ferido por uma arma de fogo? ()Sim ()Não

Alguma história pessoal de cancro? ()Sim ()Não

Em caso afirmativo, que tipo de cancro? _____

Os seus sintomas foram provocados por algum traumatismo? ()Sim ()Não

Está grávida ou a amamentar? ()Sim ()Não

Está a utilizar algum dispositivo intra-uterino (Para contraceção)? ()Sim ()Não

Já teve alguma reação ao Gadolínio (Contraste)? ()Sim ()Não ()Nunca usou ()

Assinatura _____

Data _____

ANEXO 2.

CONSENTIMENTO INFORMADO

Título da Investigação: “Mapeamentos das regiões cerebrais associadas ao engano”

Investigador: Mafalda Perez

Contacto: Mafaldaperez13@gmail.com

Proposta: Venho por este meio convidá-lo para participar no estudo de pesquisa com indivíduos saudáveis de forma a conhecer as diferenças que existem no funcionamento do cérebro quando um indivíduo se encontra a mentir e quando se encontra a dizer a verdade.

Objetivo: O intuito deste estudo é examinar o comportamento das diferentes regiões cerebrais no comportamento da mentira/verdade. No fundo, o que se pretende explorar, são as áreas ativas em ambas as situações.

Se durante a leitura deste documento encontrar qualquer palavra que não conheça o significado, não hesite em perguntar de forma a ficar esclarecido.

Procedimentos: Será realizada uma primeira triagem de forma a conhecer alguma informação pessoal tal como: nome, idade, e contacto. Será igualmente realizada uma triagem de modo a obter algumas informações tais como: historial médico, existência de transtornos psiquiátricos, uso de medicamentos, histórico de doenças cerebrais, traumatismos cranianos, uso de drogas.

Cada participante terá inclusive de responder a um questionário para verificar se não existem contra-indicações que possam impedir a sua entrada no aparelho de Ressonância Magnética.

Qualquer desta informação é confidencial e não será fornecida a terceiros.

O tempo total de participação no exame é de cerca de uma hora.

Serão fornecidas todas as instruções necessárias para a realização da tarefa.

Tarefa: Cada um dos participantes entrará na sala onde encontrará 2 objectos dentro de uma gaveta. Cada indivíduo deverá roubar apenas um dos objectos e colocá-lo dentro de um armário, para o efeito.

De seguida o participante é convidado a entrar dentro da Ressonância Magnética. Dentro desta sala existe uma tela onde serão projectadas as perguntas a que o participante terá de responder.

Durante a primeira parte do exame, o participante terá de admitir o roubo. Na segunda parte das perguntas, o participante terá de negar o roubo. Por exemplo: Caso o participante tenha roubado o relógio, quando aparecerem perguntas para saber se o indivíduo levou consigo este objecto, este terá de responder de forma negativa.

Serão fornecidos protectores de ouvidos de modo a proteger do barulho natural originado pela Ressonância Magnética.

A tarefa a realizar consiste em olhar para a tela e responder às perguntas expostas no ecrã. Neste momento serão adquiridos dados. Para responder às perguntas é necessário usar uma caixa de respostas que permite responder às perguntas de forma positiva ou negativa.

O objetivo deste estudo é “enganar” a Ressonância Magnética, isto é, provar que é inocente mesmo no caso de ser culpado. Será atribuída uma recompensa caso este objectivo seja cumprido com sucesso.

O exame decorrerá no Hospital São José e os dados serão analisados no Instituto de Biofísica e Engenharia Biomédica (IBEB).

Procedimentos: O estudo contará com uma tela que projecta as perguntas para serem lidas pelos participantes dentro da RM. Cada paciente terá de preencher o questionário para poder entrar dentro da RM com segurança.

Riscos: Para a realizar deste estudo não existem qualquer tipo de contrapartidas. Pessoas ansiosas podem sentir um ligeiro stress ao responder às perguntas ou alguma claustrofobia por se encontrar num sítio fechado. Contudo, se durante o estudo sentir momentos de stress ou por qualquer outro motivo pretenda interromper ou suspender a sua participação no estudo, pode

fazê-lo a qualquer momento sem qualquer tipo de inconveniente ou consequência.

É normal que durante o exame oiça um barulho/ruído originado pela RM. Este barulho é completamente normal e essencial para a aquisição das imagens pelo que não pode ser parado. Para combater este factor serão fornecidos auscultadores para os ouvidos que permitem reduzir o ruído.

Exames de RM não têm qualquer efeito secundário ou nocivo que seja conhecido.

No caso improvável de se identificar alguma patologia cerebral, a sua participação no estudo é dada como finalizada, mesmo que não seja a vontade do participante.

Benefícios: Este estudo não acarreta benefícios directamente para o participante mas ajudará a obter informações cerebrais sobre a mentira e a desenvolver este método de modo a detectar e diferenciar com precisão a mentira da verdade.

Durante a duração de toda a investigação estará sempre acompanhado.

Cada participante deverá tirar todas as dúvidas que tenha e seguir as instruções do investigador.

Caso sinta algum mal-estar ou sintoma durante a sua participação no estudo deverá notificar prontamente os investigadores.

Não existirá qualquer tipo de custo para o participante para participar no estudo.

É de frisar que todos os participantes têm o direito de concordar ou recusar a participar no estudo. Caso decida participar e posteriormente mudar de ideias, poderá interromper a sua participação no estudo a qualquer momento.

A confidencialidade é a base deste estudo e a sua privacidade está garantida a 100%. Todas as informações recolhidas são mantidas em sigilo.

ANEXO 3.

DECLARAÇÃO DO VOLUNTÁRIO

Concordo que me foi dada a oportunidade de esclarecer todas as dúvidas em relação a este estudo. Sei que a qualquer momento posso contactar o investigador de modo a fazer perguntas das quais ainda permaneçam dúvidas. A minha participação é completamente voluntária e posso desistir de participar a qualquer momento sem qualquer contrapartida.

Caso concorde com o que foi a cima referido, coloque a sua assinatura em baixo. Ser-lhe-á ainda entregue uma cópia deste documento que pode guardar para registos futuros.

Nome do participante (completo)

Assinatura do Participante

Data

Nome da pessoa que obtenha o consentimento [completo]

Assinatura da pessoa a obtenção de consentimento

Data

ANEXO 4.

FORMULÁRIO DE CONSENTIMENTO INFORMADO

Eu, abaixo assinado (a) (indicar o primeiro e último nome),

aceito de livre e espontânea vontade, participar no estudo de Ressonância Magnética Funcional cujo principal objetivo deste estudo é a deteção da mentira através das zonas ativadas no cérebro.

Foram-me fornecidas todas as explicações necessárias pela Investigadora Mafalda Ferreira Amaro Perez, que orientou a discussão sobre o consentimento informado, sobre a natureza, objetivo e duração do estudo. Tive a oportunidade de colocar todas questões e dúvidas acerca do estudo em questão.

Após ponderar todos os aspectos do estudo, aceito colaborar no mesmo. Estou consciente de que possuo total liberdade de desistir do estudo em qualquer altura, se eu assim desejar, sem qualquer consequência negativa proveniente dessa decisão.

Tenho conhecimento de que a Investigadora Mafalda Ferreira Amaro Perez, me facultará o acesso aos meus dados pessoais, caso eu assim pretenda.

A minha identidade nunca será revelada e qualquer informação recolhida será mantida confidencial. Autorizo que o meu processo clínico e outros dados pessoais obtidos durante o estudo possam ser consultados por pessoas que tenham interesse em desenvolver este projeto. Confirmo que li o Formulário de Consentimento Informado.

Lisboa, _____ de _____ de 2013

(Nome do paciente) (Assinatura)

(Nome do Investigador) (Assinatura)

ANEXO 5.

PERGUNTAS UTILIZADAS DURANTE O PARADIGMA DAS QUESTÕES

PERGUNTAS SUBJECTIVAS

Você gosta de nadar?
Você gosta de ler?
Você gosta da praia?
Você gosta de chocolate?
Você gosta de ver TV?
Você tem algum cão?
Você tem algum gato?
Você gosta de filmes?
Você já fez comentários negativos acerca de alguém?
Você já fez algo ilegal?
Você já fez algo imoral?
Você já usou drogas ilícitas?
Você já enganou um ente querido?
Você já fez alguém ficar com raiva?
Já cometeu um crime?
Você já copiou em algum teste?
Já contou uma mentira "branca"?
Você obedece a todas as leis de trânsito?
Você sempre disse a verdade?
Você já "ludibriou" os seus impostos?
Você amaldiçoou alguém?
Você já fingiu estar doente?
Você é um cidadão que pratica o bem?
Já alguma vez falsificou alguma assinatura?
Você já escondeu a verdade de alguém?
Já alguma vez foi preso?

Já alguma vez excedeu o limite de velocidade no trânsito?

PERGUNTAS DE CONTROLO

Você está acordado?
Você está a dormir?
Você tem menos de 50 anos de idade?
Você tem mais de 18 anos de idade?
Você mora em Portugal?
Você vive em Bragança?
Estamos no ano de 2004?
Você fala Português?
Estamos em Agosto?
Você está no interior de uma máquina de Ressonância Magnética?
Você está deitado?

PERGUNTAS PARA DETETAR A MENTIRA

Você tirou o anel da gaveta?
O anel está no seu armário?
Você tocou no anel?
Você roubou o anel?
O anel foi roubado?
Você escondeu o anel?
Você alterou o sítio do anel?
O anel está nas suas posses?
Há um anel roubado no seu armário?
Você mexeu em algum anel que não é seu?
Você colocou o anel dentro das suas coisas?

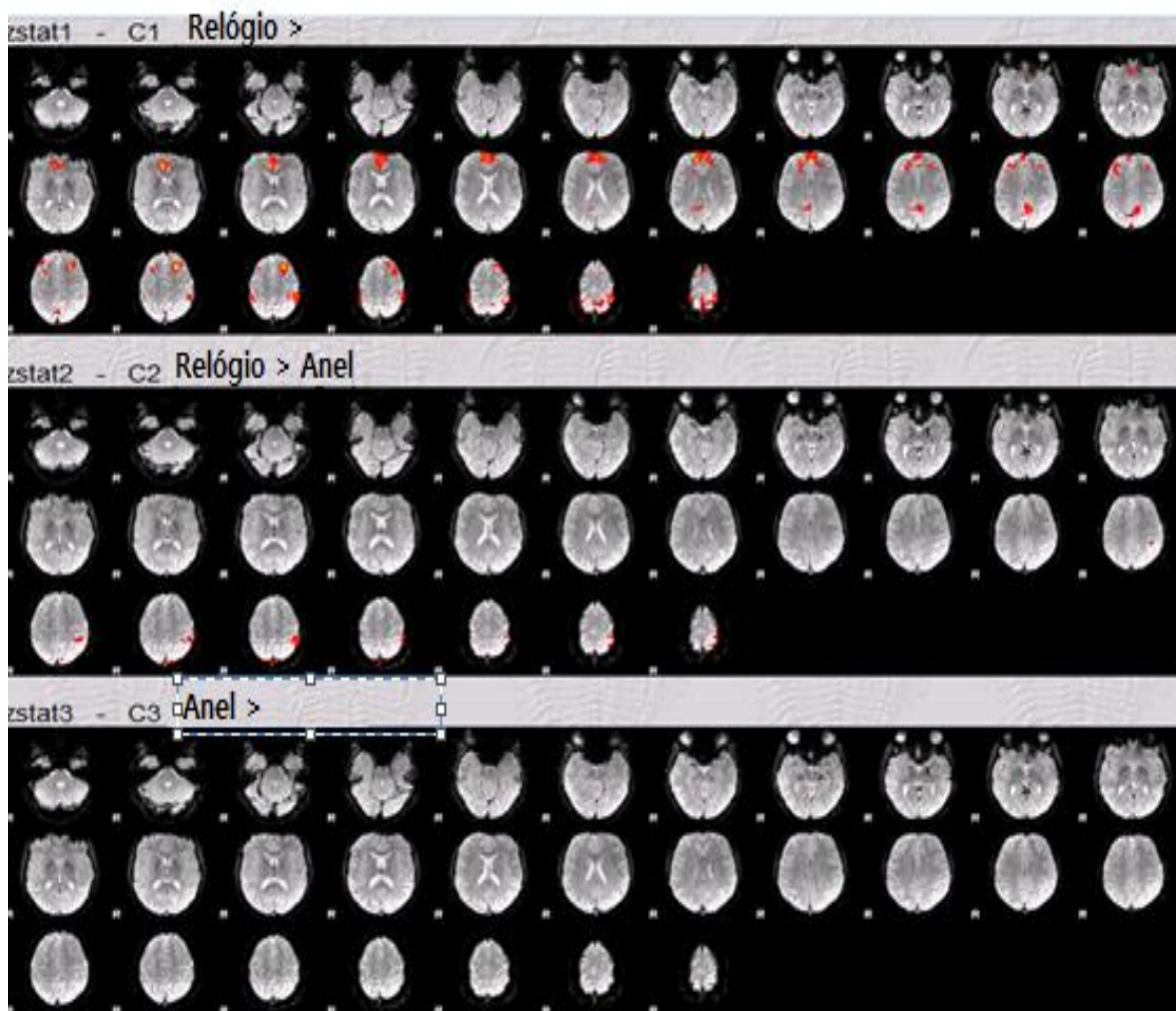
Você escondeu o anel no seu armário?
Você tirou algum anel da gaveta?
Você roubou algum anel da gaveta?
Você colocou o anel no seu armário?
Você manteve o anel no mesmo sítio?
Você deixou o anel na caixa onde estava?
O anel está na caixa?
O anel foi movido da caixa?-No
Será que você tirou o relógio da caixa?
O relógio está no seu armário?
Você tirou o relógio?
Você roubou o relógio?
O relógio foi roubado?
Você escondeu o relógio?
Você roubou um relógio?
O relógio está nas suas posses?
Existe um relógio roubado no seu armário?
Você ficou com um relógio que não é seu?
Você colocou o relógio no seu armário ou nas suas coisas?
Você escondeu o relógio no seu armário ou nas suas coisas?
Você retirou um relógio da caixa?
Você roubou um relógio da caixa?
Será que você colocou o relógio no seu armário ou nas suas coisas?
Você manter/colocou o relógio na caixa?
Você deixou o relógio na caixa?
Será que o relógio ficou na caixa?
Foi o relógio deslocado da caixa?
O relógio está na caixa?

ANEXO 6.

RESULTADOS DO PARADIGMA DAS IMAGENS

Participante número 2:

Objeto roubado: Relógio



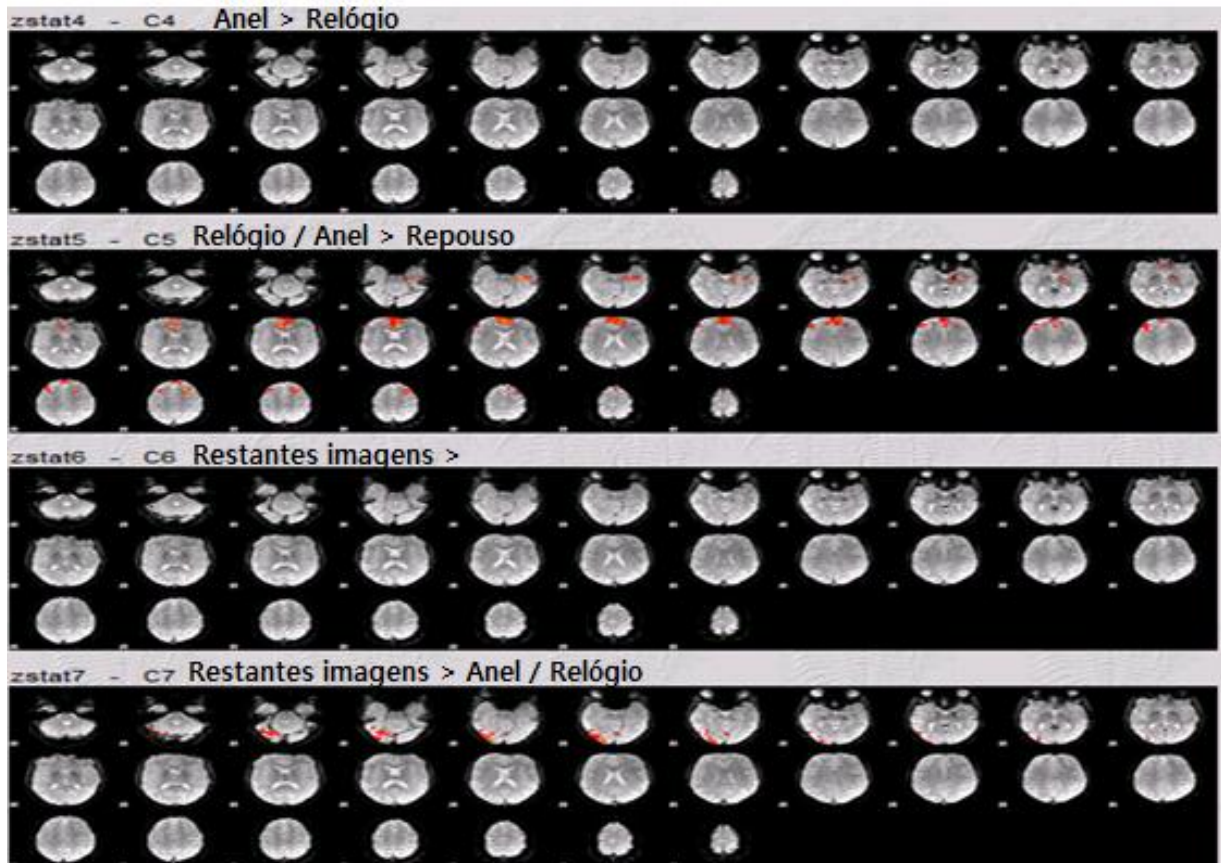


Figura 41 - Resultados obtidos correspondem ao objeto roubado na realidade (relógio).

Durante a visualização do relógio, o lobo frontal médio e inferior, na porção anterior e medial encontra-se ativo, tal como pequenos focos na região frontal superior (bilateralmente). A região posterior e medial do lobo parietal também se encontra ativa.

Não existem zonas ativas durante a visualização do anel. Estes factos levam-nos a pensar que o objecto roubado foi o relógio, o que coincide com a realidade.

Participante número 4:

Objeto roubado: relógio

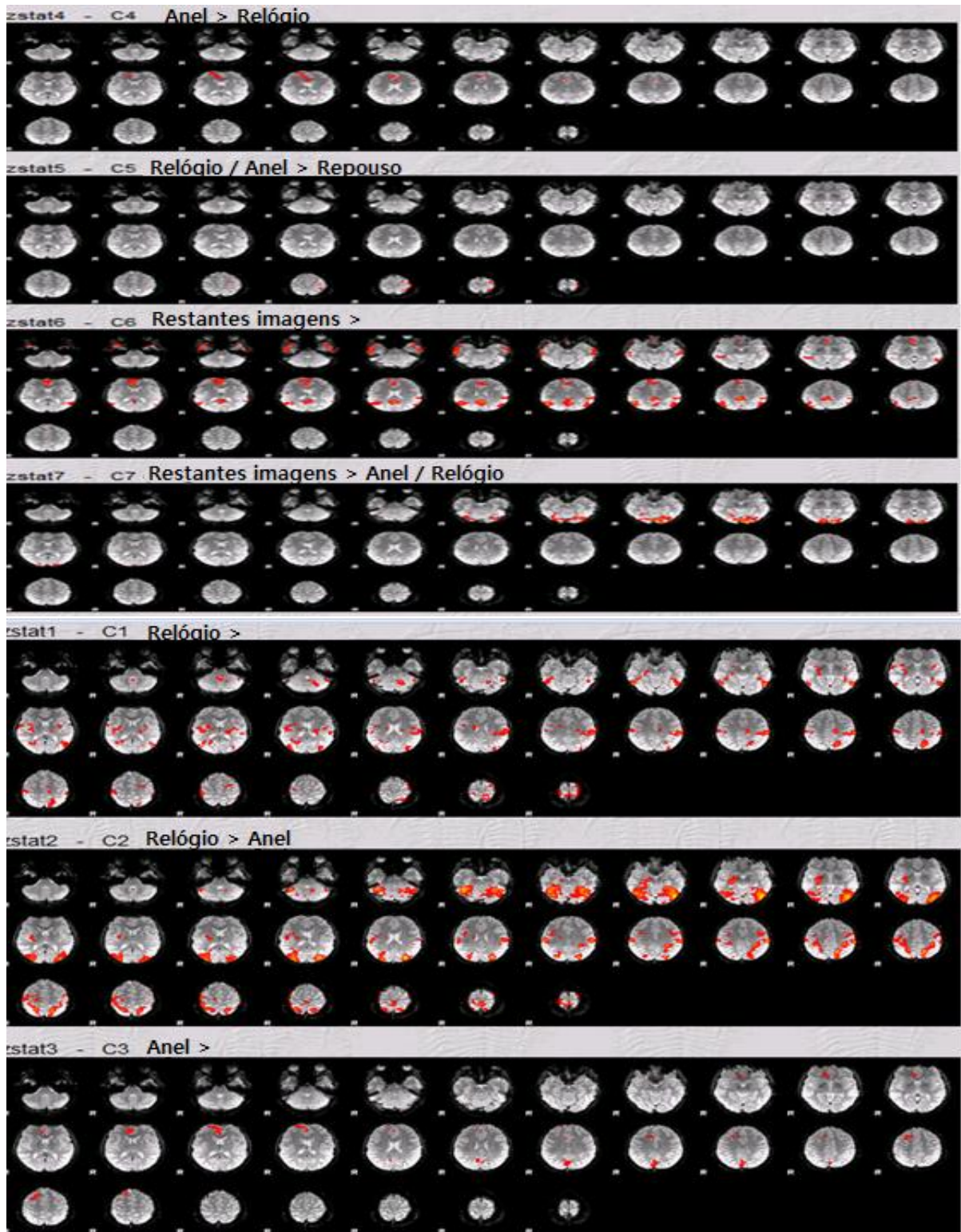


Figura 42 - Resultados obtidos permitem concluir que o objeto roubado foi o relógio.

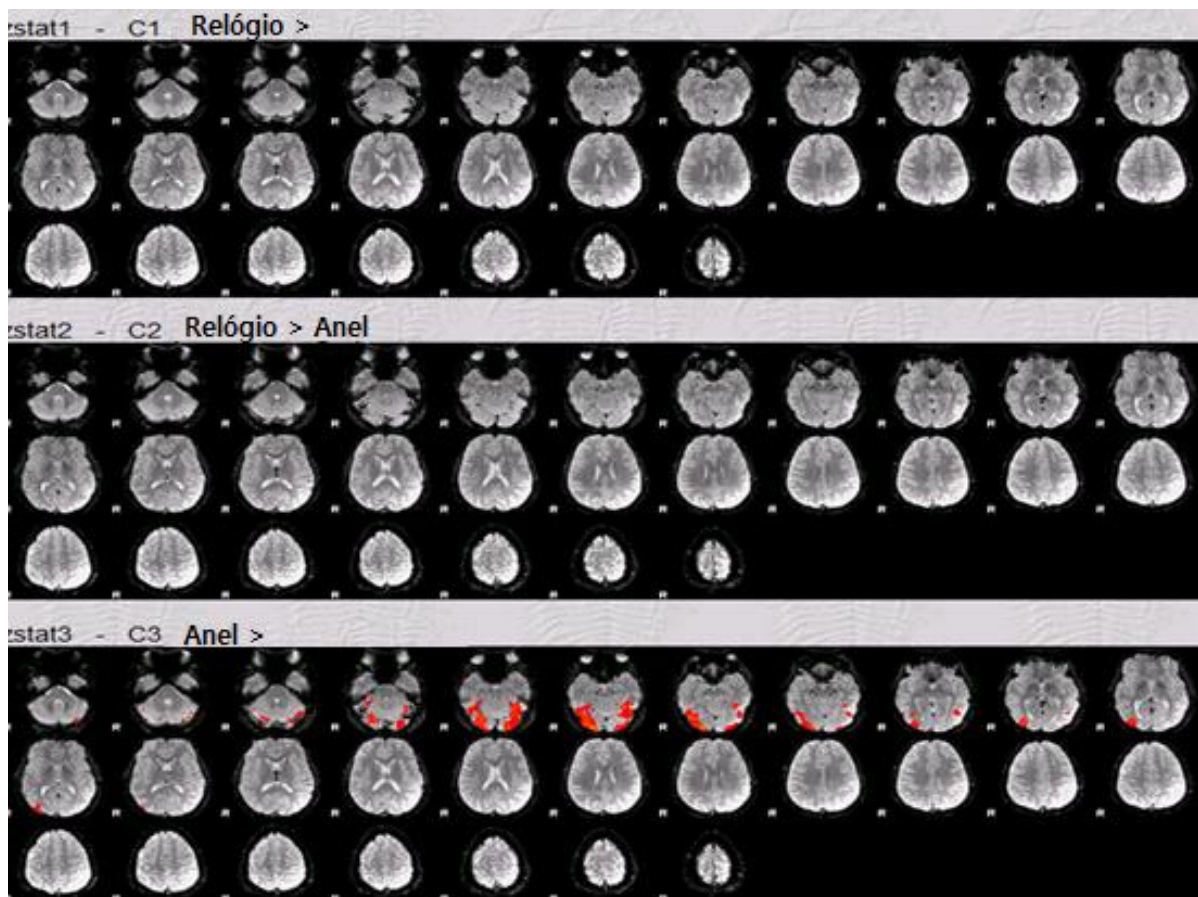
Na primeira condição (relógio >), visualizam-se zonas ativas na região medial do cerebelo, na região temporal lateral junto ao sulco central e pós-central (bilateralmente), no lobo parietal esquerdo e no sulco central junto ao lobo parietal direito.

Ao proceder à comparação entre o anel e o relógio, verifica-se que as zonas ativas durante a visualização do relógio (nas zonas referidas anteriormente) são maiores. Durante a visualização do anel, apenas existem pequenos focos de zonas ativas na região medial do frontal inferior e na região posterior do occipital.

Estes factos permitem-nos aferir que o objecto roubado foi o relógio, o que corresponde à realidade.

Participante número 5

Objeto roubado: relógio



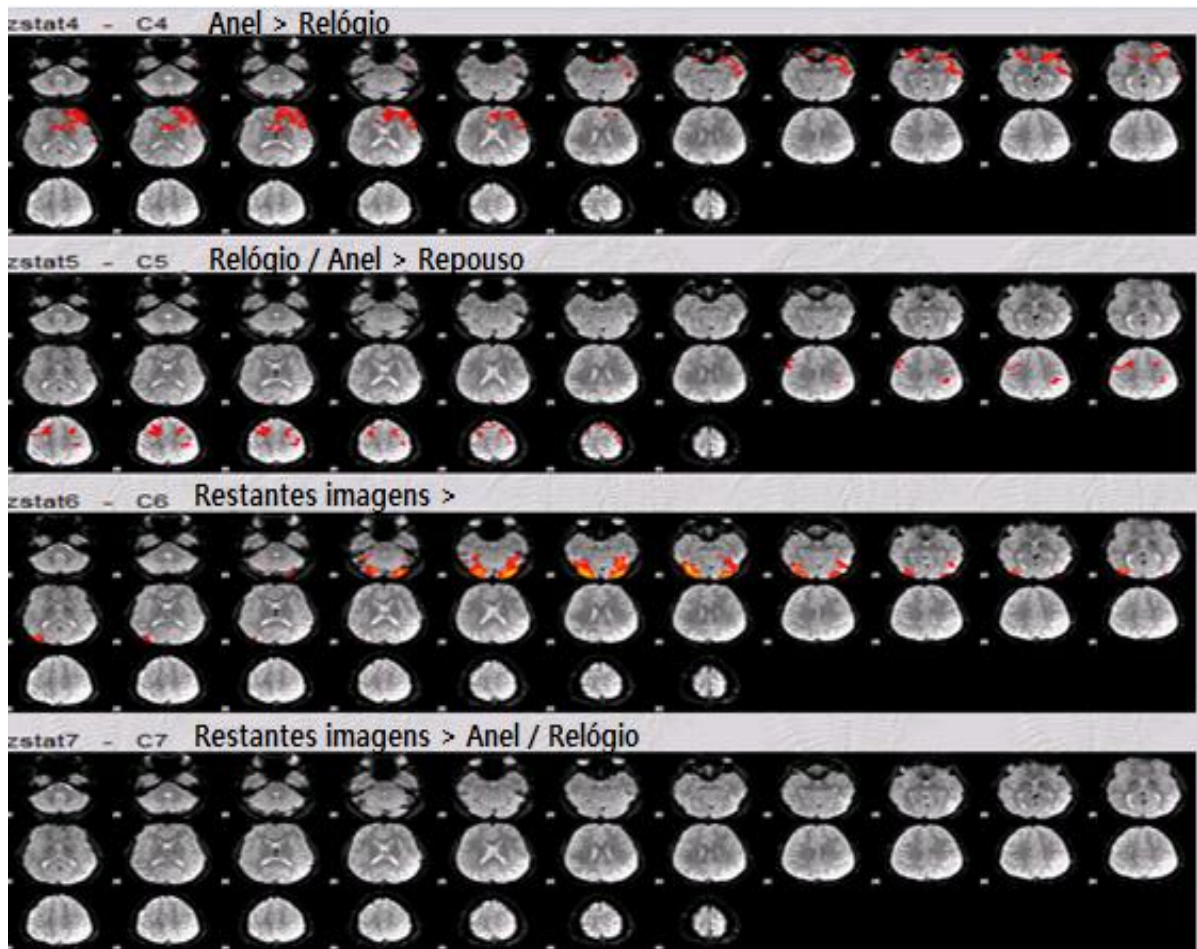


Figura 43 - Os resultados induzem o observador em erro ao pensar que o objeto roubado é o anel.

Durante a visualização do anel, existem zonas ativas no occipital, cerebelo (bilateral) e região posterior e lateral dos lobos temporais. As zonas ativas durante a visualização do anel > relógio são a região temporal e região anterior do lobo esquerdo, bem como a região frontal anterior e lateral esquerda.

Pelo contrário, durante a visualização do relógio não existem zonas ativas, o que nos leva a pensar que o objeto roubado foi o anel. Contudo, esta afirmação não está correta, pois o objeto elegido foi o relógio.

Participante número 7:

Objecto roubado: anel

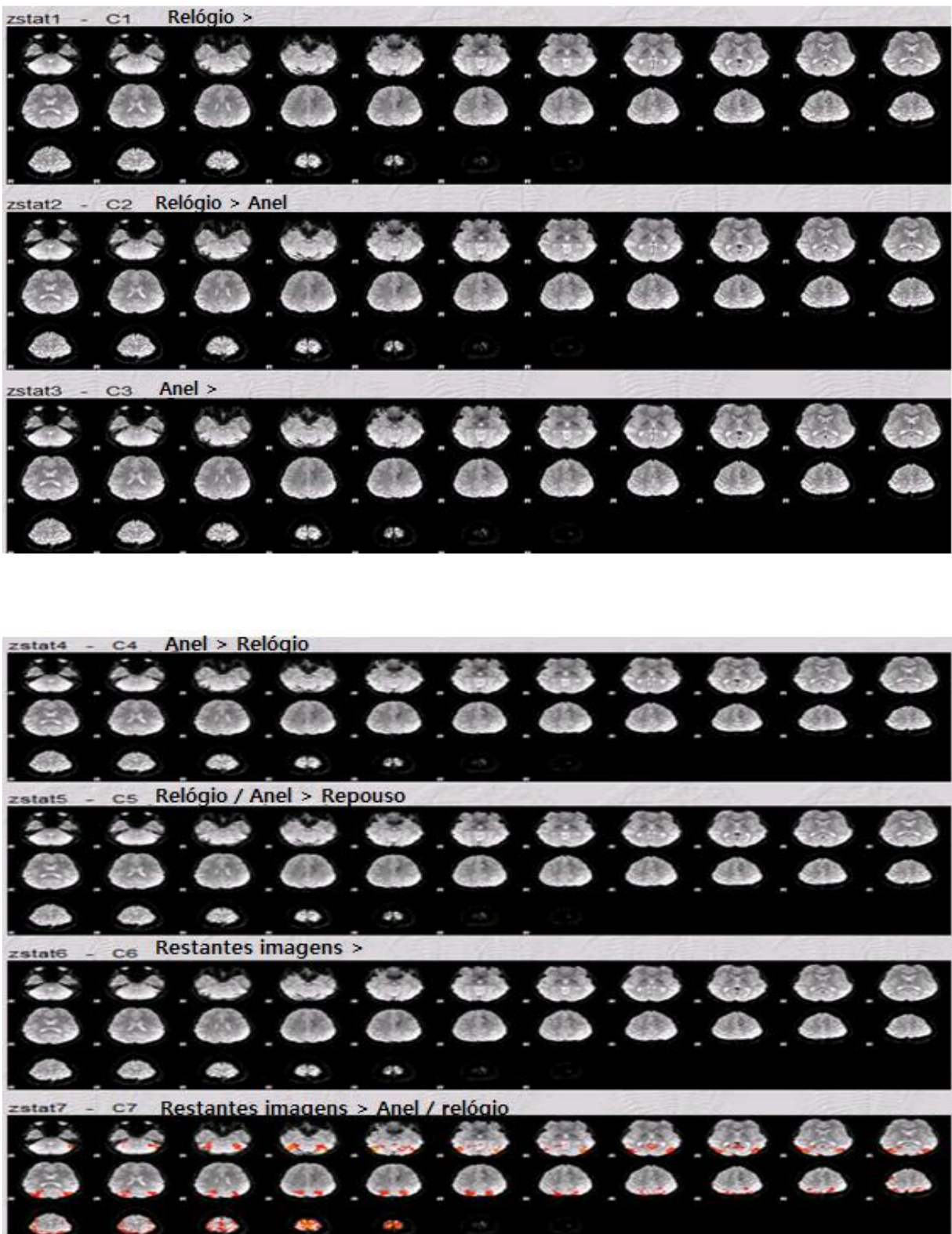
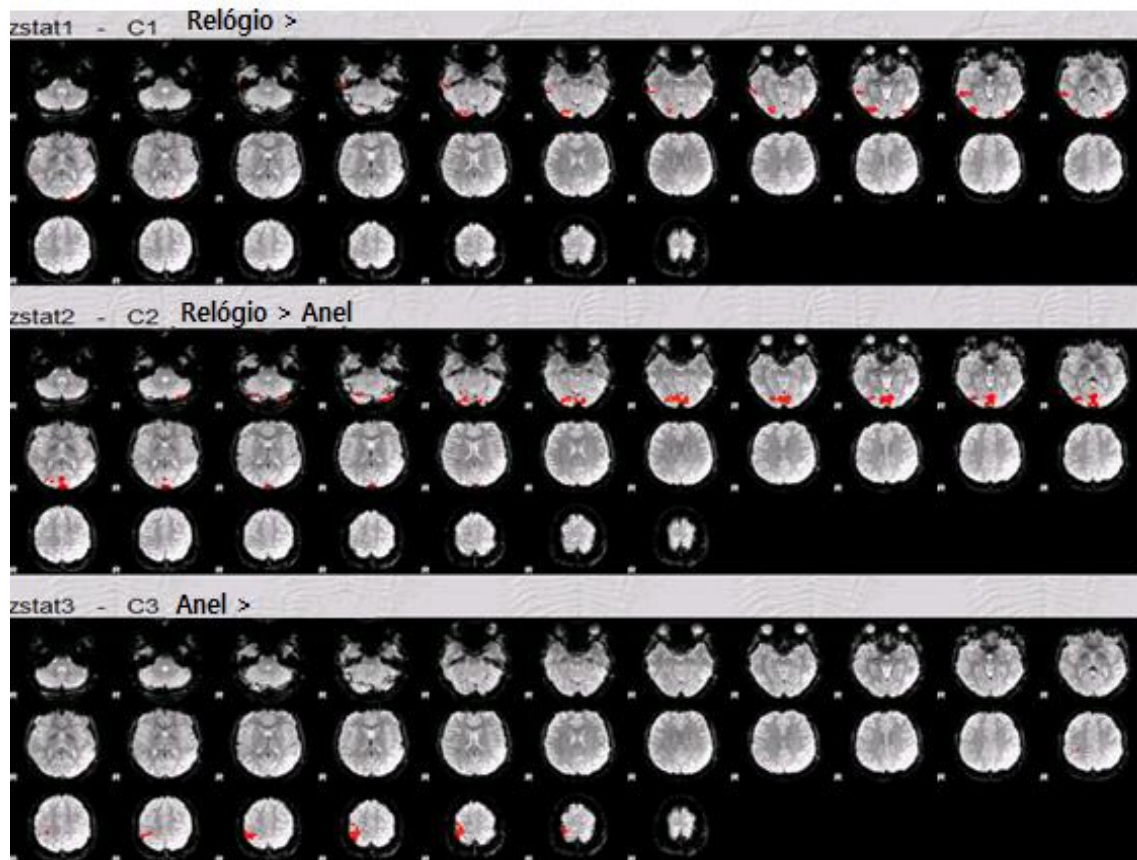


Figura 44 - Os resultados expostos não permitem aferir o objeto roubado

Devido à inexistência de áreas ativas durante a visualização do anel e do relógio, não se pode concluir qual foi o objeto roubado por este participante. A única região ativa é o occipital, que possivelmente se intensifica devido à visualização das imagens.

Participante número 8:

Objeto roubado: anel.



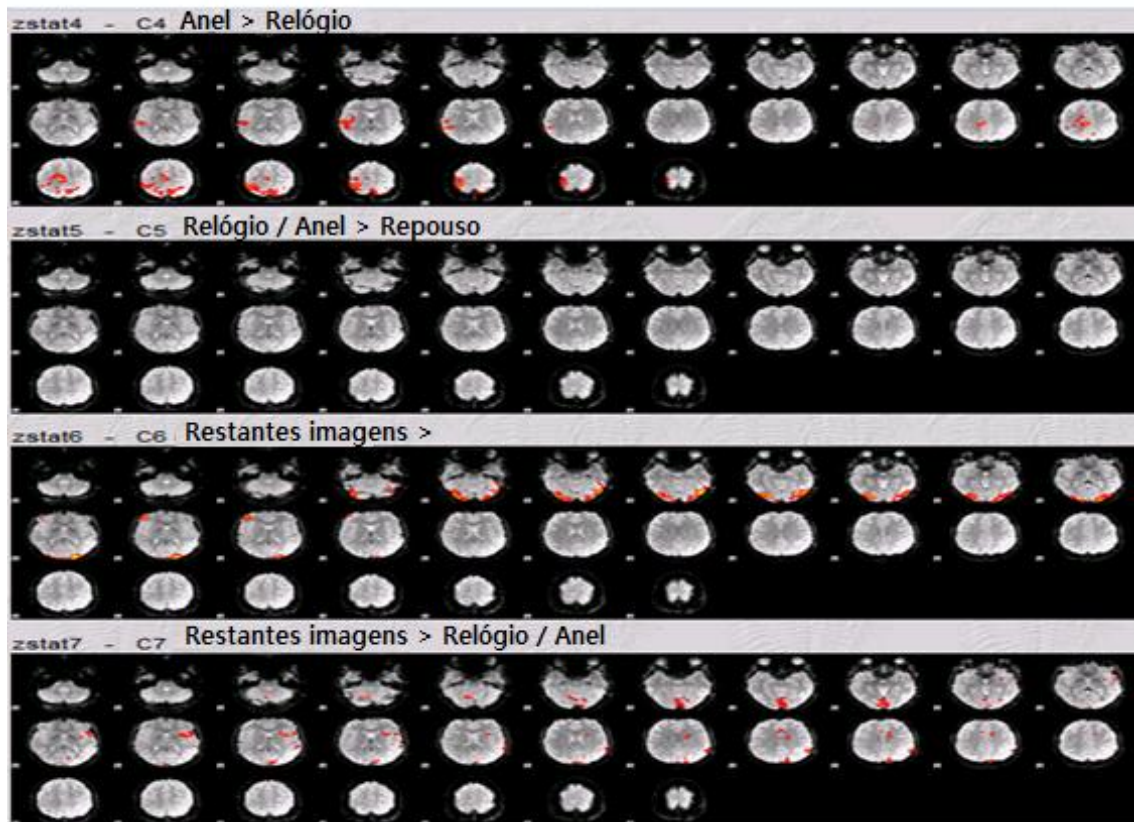


Figura 45 - Resultados demonstram que o objeto roubado é o anel.

Durante a visualização do relógio é possível observar zonas ativas no lobo occipital e no lobo temporal direito. Contudo, na terceira condição (anel >), é possível observar pequenos focos de zonas ativas na região posterior e lateral do lobo parietal superior direito. Existem igualmente focos de maior ativação na região temporal direita, junto ao sulco central, e no lobo parietal médio e superior do lado direito, durante a visualização do anel > relógio.

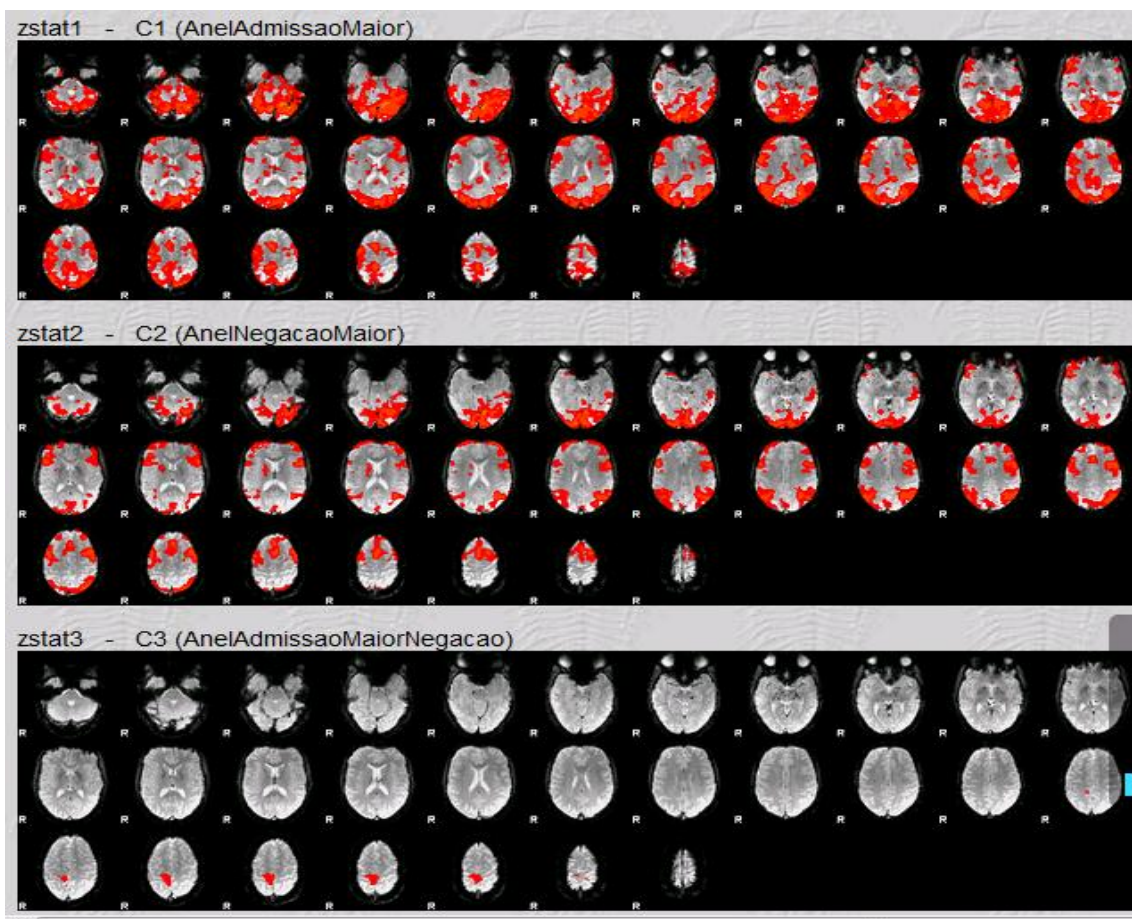
Estes factos levam-nos a querer que o objecto roubado foi o anel, o que corresponde à realidade.

ANEXO 7.

RESULTADOS - PARADIGMA DAS PERGUNTAS

Participante número 2

Objeto roubado: Relógio



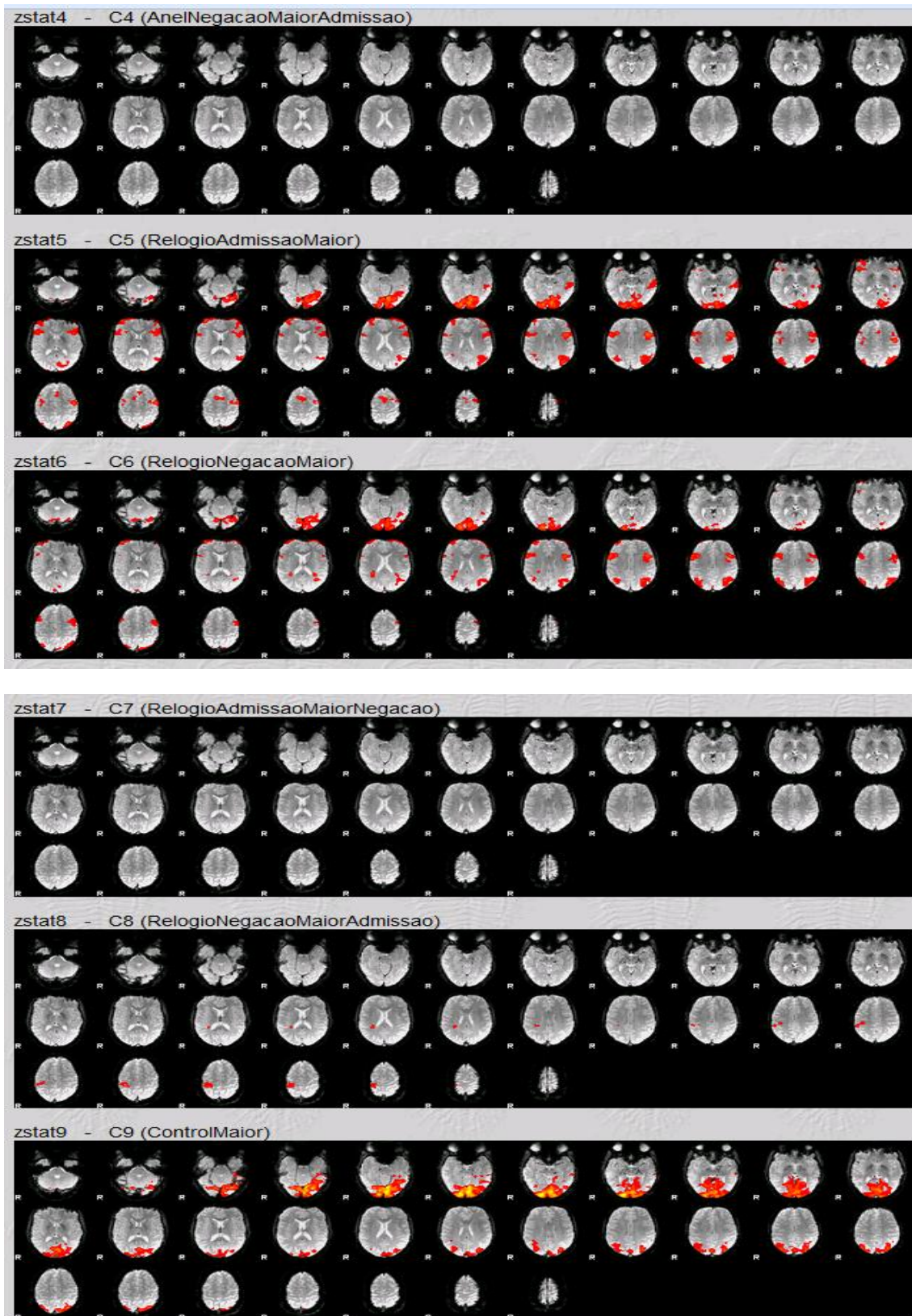


Figura 46 - Os resultados observados correspondem ao objeto roubado (relógio).

Durante a negação do relógio estão ativas a região posterior e medial do cerebelo e lobo occipital, a região anterior e inferior do lobo frontal, a região anterior e posterior do lobo temporal (bilateralmente) e a região posterior do parietal superior (bilateralmente).

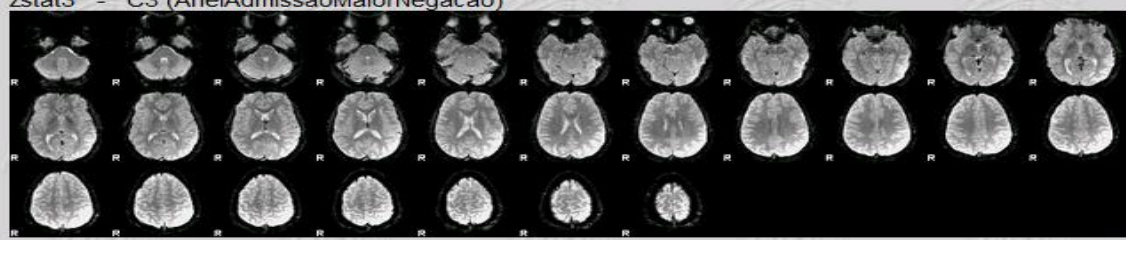
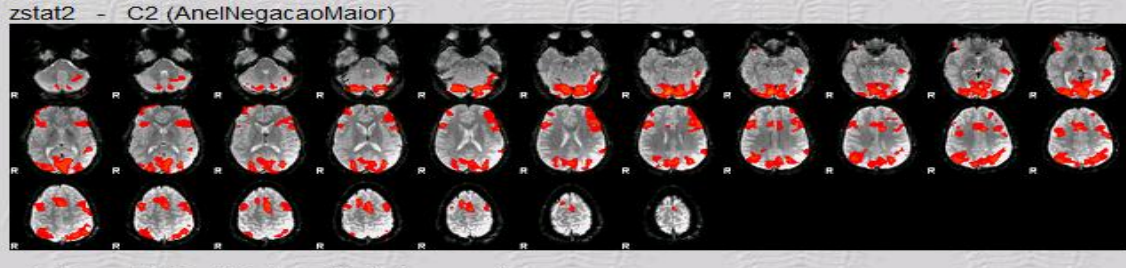
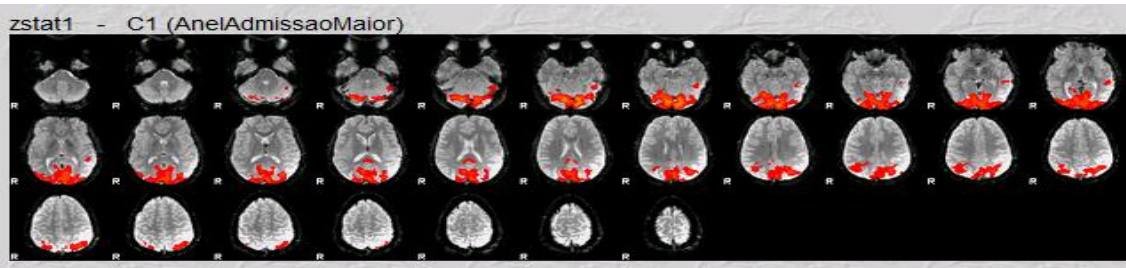
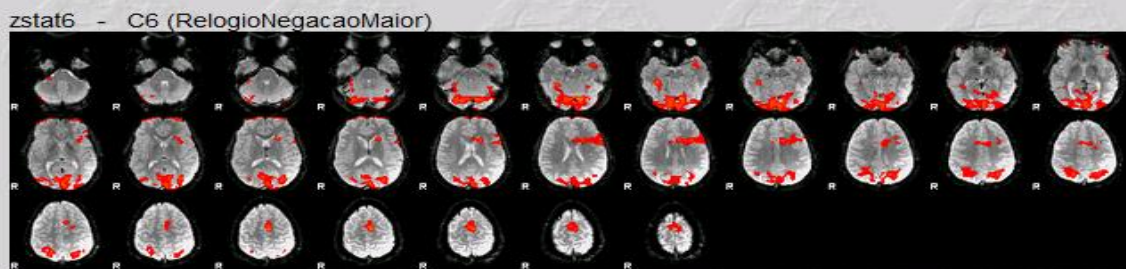
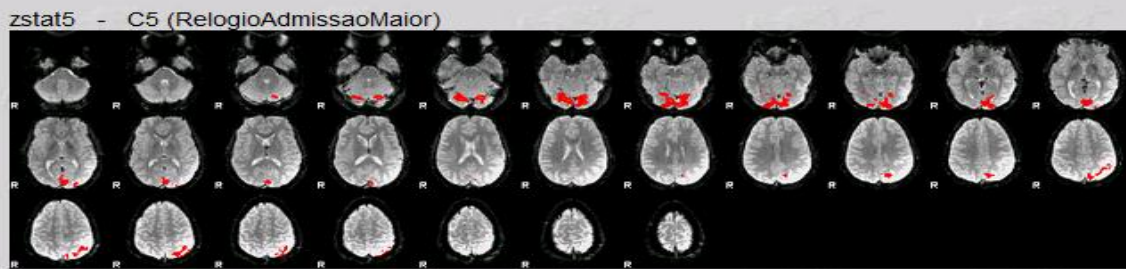
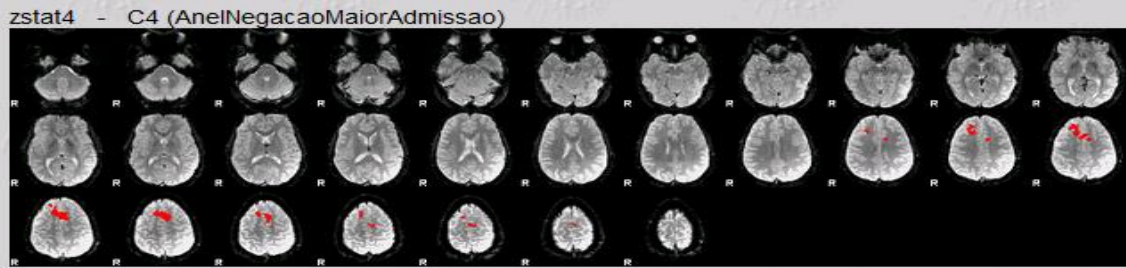
Na condição “relógio negação > admissão” existem focos de ativação na região inferior e posterior do lobo temporal direito, bem como no lobo temporal superior, junto ao sulco pós central do lado direito, e região lateral e esquerda do lobo parietal.

Ao comparar as duas premissas da “negação > admissão”, observa-se que o anel não tem ativação, enquanto que o relógio possui ativação na região parietal do lado direito.

Pelo contrário, na condição “negação do anel > admissão”, não existem zonas ativas. Por sua vez, também quando o participante admite ter roubado o relógio, não se verificam zonas ativas. Desta forma, estes dados apontam para que o objeto roubado tenha sido o relógio, o que corresponde à realidade

Participante número 5

Objeto roubado: Relógio



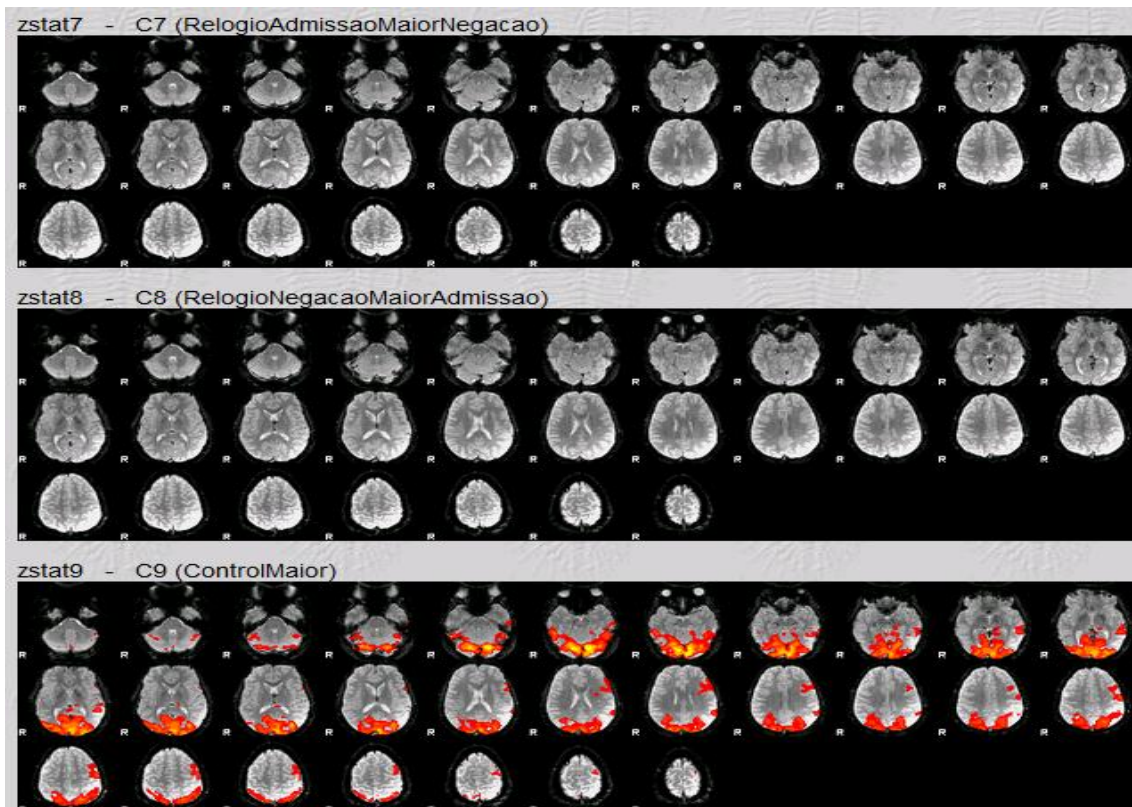


Figura 47 - Os resultados expostos não permitem retirar as conclusões corretas acerca do objeto roubado (relógio).

As zonas ativas na premissa “anel negação >” são a região posterior do lobo occipital e cerebelo, a região frontal inferior e lateral direita, frontal médio e superior (bilateral), lobo parietal (bilateral) e lobo temporal posterior esquerdo. Por sua vez, durante a negação do anel > admissão encontra-se ativo o lobo frontal superior e anterior direito bem como a região medial do mesmo.

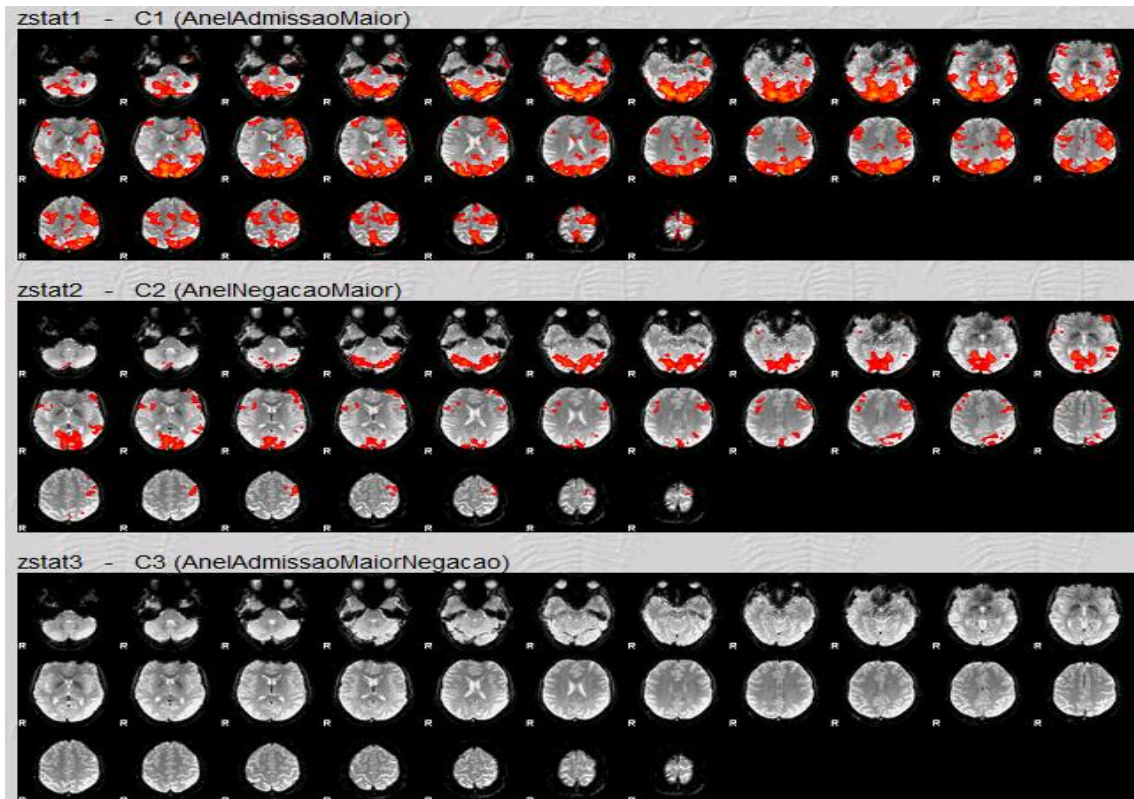
A região posterior do cerebelo, o lobo occipital, a região anterior e inferior do lobo frontal, o lobo temporal médio do lado esquerdo, a região posterior esquerda do lobo parietal e a região medial e superior do lobo parietal esquerdo estão ativas durante a negação do relógio. Contudo, durante a negação do relógio > admissão não existe qualquer tipo de atividade cerebral.

Desta forma, estes factos associados aos princípios do efeito BOLD levam-nos a pensar que o objeto furtado foi o anel, o que não se adequa à realidade.

Contudo, mais uma vez é necessário analisar estes dados como um todo, e perceber que durante a negação do relógio existe atividade do lobo parietal, associado à mentira.

Participante número 6

Objeto roubado: Anel



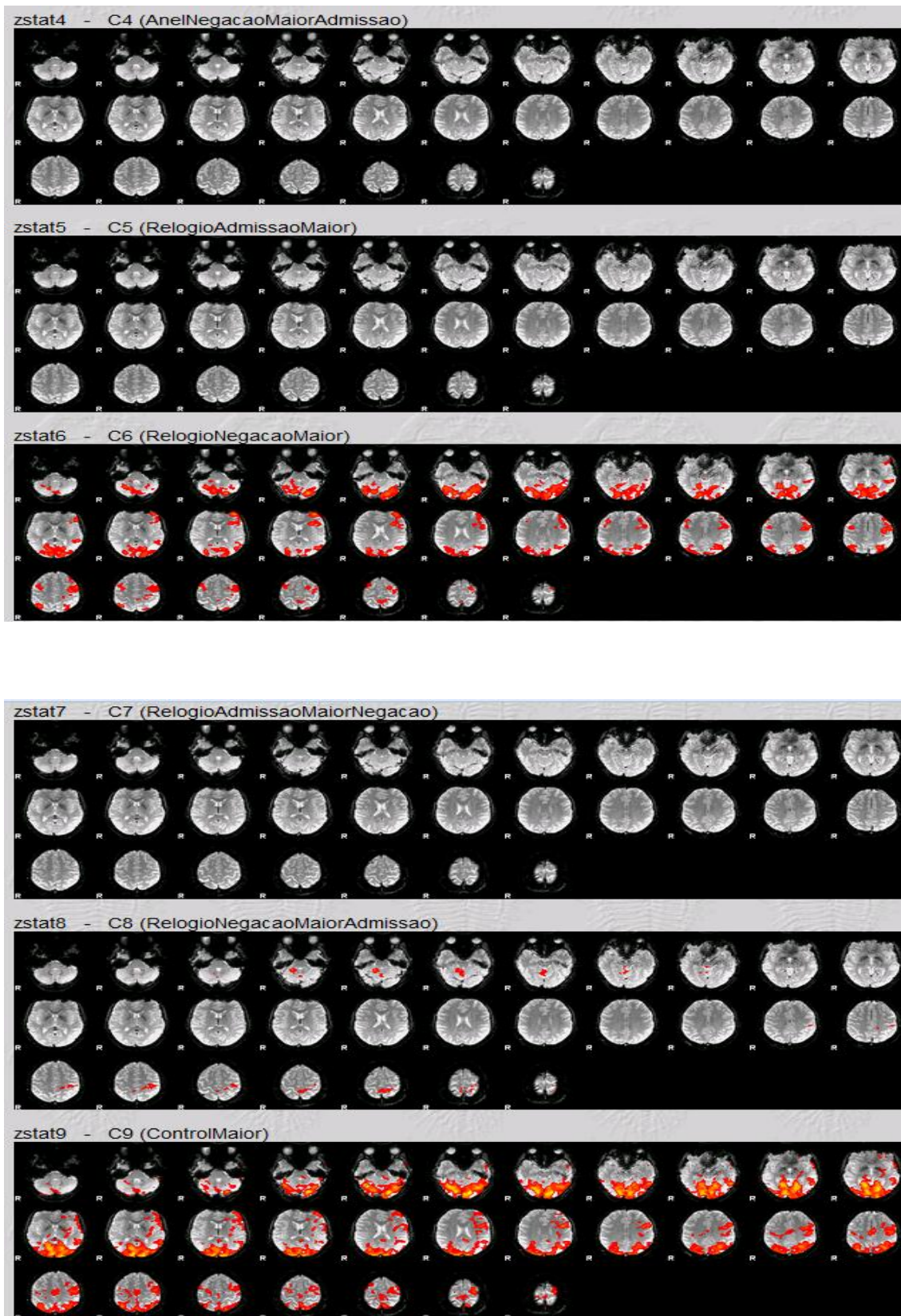


Figura 48 - Os resultados obtidos não correspondem ao objeto roubado na realidade (anel).

Ao observar os dados correspondentes à negação do anel > verificou-se que estavam ativas as regiões: posterior e bilateral do cerebelo, lobo occipital, a região anterior e inferior do lobo frontal do lado esquerdo na zona lateral, a região inferior do lobo temporal direito (foco de ativação), a região anterior e bilateral do lobo temporal e focos de ativação na região inferior e anterior (bilateralmente). No lobo parietal e superior existe ativação na região média e lateral do lado esquerdo.

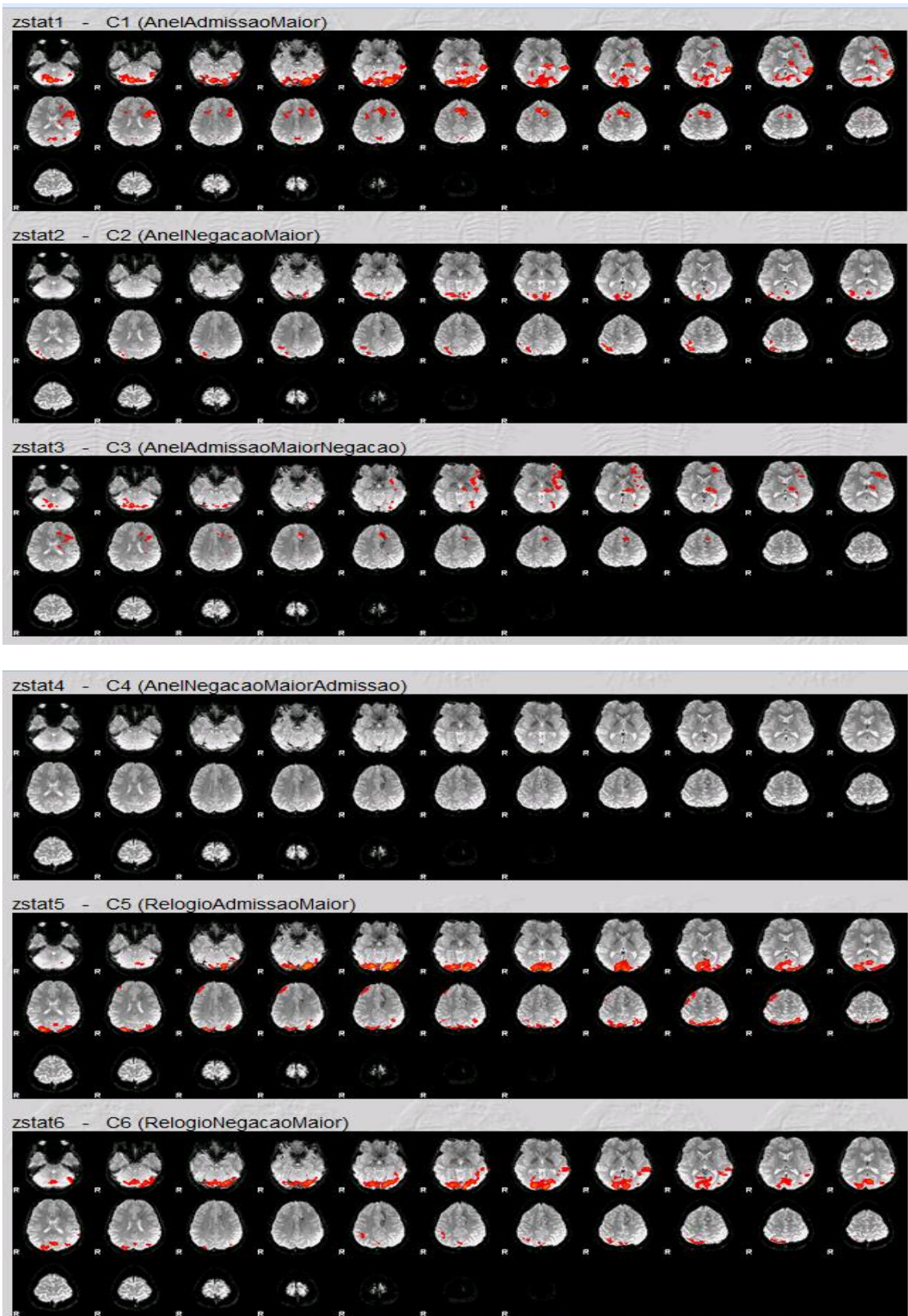
Pelo contrário, durante a condição negação do relógio >, existe ativação da região posterior e bilateral do cerebelo e occipital, região anterior e lateral direita do lobo frontal e região anterior e posterior dos lobos parietais (bilateralmente). Durante a condição: “negação > admissão do relógio”, está ativa a região medial do cerebelo e existem focos de ativação na região superior e posterior do parietal do lado esquerdo.

Ao observarem-se as condições correspondentes à negação do anel > admissão (e vice-versa), verificamos que não existe ativação cerebral. Durante a negação e admissão do anel, as áreas ativas são idênticas pelo que não nos permite retirar conclusões.

Sendo assim, pode-se constatar que existem zonas ativas quando se observa a condição: “negação do relógio > admissão”. Desta forma, também se verifica a não ativação durante a condição: “admissão > negação”. Em relação ao anel, não se verificam zonas ativas em nenhuma destas premissas, o que nos levaria a pensar que não é o objeto roubado se não existisse ativação do lobo parietal, que nos levam a afirmar que o objeto roubado foi o anel.

Participante número 7

Objeto roubado: Anel



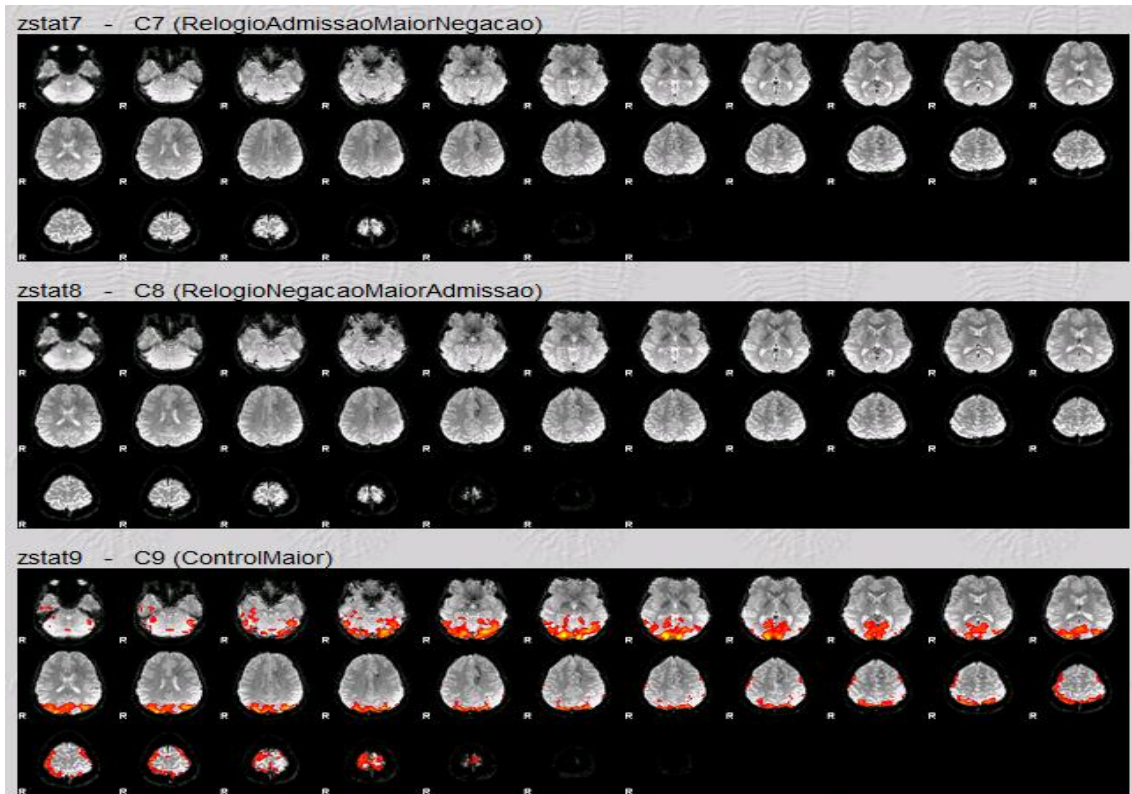


Figura 49 - Resultados demonstram que o objeto roubado foi o anel.

Durante a premissa “negação anel >” a região posterior e bilateral do lobo occipital e a região posterior e inferior do lobo parietal direito estão ativas. Por sua vez, durante a condição negação do relógio >, existe ativação da região posterior do occipital e do cerebelo (bilateralmente), a região temporal esquerda, junto ao sulco pós-central e a região posterior do lobo parietal e inferior do lado direito.

À semelhança do padrão estudado no participante anterior, apesar de existirem algumas áreas ativas na negação do relógio, estas são denunciadas pela ativação isolada do lobo parietal na negação do roubo do anel, o que nos indica que este foi o objeto roubado.