

ANÁLISE DA ATIVIDADE ELÉTRICA CORTICAL EM RESPOSTA AO TESTE
COGNITIVO ENVOLVENDO INTERFERÊNCIA NOME-MATIZ DE COR

Marcelo Cagy

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM
ENGENHARIA BIOMÉDICA.

Aprovada por:

Prof. Antonio Fernando Catelli Infantosi, Ph.D.

Prof. Antonio Mauricio Ferreira Leite Miranda de Sá, D.Sc.

Prof. Renan Moritz Varnier Rodrigues de Almeida, Ph.D.

Prof. Sergio Luis Schmidt, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JUNHO DE 2008

CAGY, MARCELO

Análise da Atividade Elétrica Cortical em
Resposta ao Teste Cognitivo Envolvendo
Interferência Nome-Matiz de Cor [Rio de
Janeiro] 2008

VI, 108 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc.,
Engenharia Biomédica, 2008)

Dissertação - Universidade Federal do
Rio de Janeiro, COPPE

1. Processamento de Sinais Biológicos
2. Neurologia
3. Potencial Evocado Relacionado a Evento

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ANÁLISE DA ATIVIDADE ELÉTRICA CORTICAL EM RESPOSTA AO TESTE
COGNITIVO ENVOLVENDO INTERFERÊNCIA NOME-MATIZ DE COR

Marcelo Cagy

Junho / 2008

Orientadores: Antonio Fernando Catelli Infantsi

Antonio Mauricio Ferreira Leite Miranda de Sá

Programa: Engenharia Biomédica

O histórico Teste de Stroop documenta o fenômeno de “interferência” entre os componentes informativos do estímulo, que representa o modelo da ação atenta cotidiana. Este estudo avaliou, em 36 voluntários, o desempenho comportamental e seu correlato eletrofisiológico, na forma de Potenciais Evocados Relacionados a Eventos (ERP) – o P300 e o N400 – em resposta a uma versão simplificada do teste de *Stroop* com respostas manuais. Como resultado, foi registrado efeito de interferência significativo. Foi elaborado um Modelo do Tempo de Reação, composto por dois componentes teóricos (Pessoal e *Stroop*), os quais sofreram influências diferenciadas do “efeito aprendido”. Não houve correlação significativa entre esse desempenho e as latências dos ERP avaliados (o P3_a e o N400), mas as amplitudes desses potenciais dependeram da demanda atenta. Não houve diferença entre as médias das latências dos ERP segregados pelo tipo de estímulo, corroborando a literatura. Diferindo desta, entretanto, foi registrado um correlato eletrofisiológico da interferência: a onda diferença (não coincidente – coincidente) mostrou apenas positividade no intervalo em torno dos 400 ms. A participação de outros ERP (como o P3_b e o P500) e a menor magnitude do N400 em resposta ao atual paradigma foram sugeridos como causa desse achado e merecem estudos posteriores.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ANALYSIS OF CORTICAL ELECTRIC ACTIVITY IN RESPONSE TO
COGNITIVE TEST INVOLVING NAME-SHADE COLOR INTERFERENCE

Marcelo Cagy

Junho / 2008

Advisors: Antonio Fernando Catelli Infantosi
Antonio Mauricio Ferreira Leite Miranda de Sá

Department: Biomedical Engineering

The opposition of attentive forces in conjunction with the degree of automation of the response process may result in “interferences” among informative elements of stimulus. This phenomenon is registered in the landmark Stroop Test. The current study aimed at evaluating the behavioral performance and its electrophysiological correlate (Event-Related Evoked Potentials - ERP) in response to a simplified variation of the Stroop Test in 36 subjects. A significant Interference effect was registered. A model of the Reaction Time, composed of two theoretical components (Personal Component and Stroop Component), was proposed. These components suffered distinct influences from the “learning effect”. No correlation between this performance and the latencies of the ERP was found, but the amplitude of such potentials depended on the attentive demand. No differences were found between the averages of the latencies of the ERP classified by type of stimulus, which is in accordance with the literature. Disagreeing with this latter, however, the difference wave (non-coincident – coincident) was found to be positive only within the time-interval around 400 ms. The influence of other ERPs and the lower magnitude of the N400 in reply to the current paradigm are suggested as causes of this finding, which deserves further investigation.

Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Objetivos.....	4
1.1.1. Objetivos Cognitivo-Comportamentais	4
1.1.2. Objetivos Cognitivo-Eletrofisiológicos	4
2. Bases Teóricas	5
2.1. Bases Neurofisiológicas	5
2.1.1. Fundamentos da Percepção Visual.....	5
2.1.1.1. Processamento Visual: da Retina ao Núcleo Geniculado Lateral.	6
2.1.1.2. Processamento Visual: o “Córtex Visual”	9
2.1.1.3. Reconhecimento de Padrões – Uma Estratégia Visuoperceptiva.....	14
2.1.1.4. A Relação entre Percepção Visual e Linguagem.....	15
2.1.2. O “Problema de Integração” (<i>Binding Problem</i>) dos Sinais Neurais.....	16
2.1.2.1. Conceitos Básicos.	16
2.1.2.2. Sincronização e o “problema de integração” – a integração temporal dos sinais neurais.	18
3. Atividade Oscilatória Eletroencefalográfica	27
3.1. Variações da Potência do Sinal EEG, na Banda Alfa, Relacionadas ao Evento .	32
3.2. Atividade Oscilatória EEG de Alta Frequência: Banda Gama	34
3.2.1. Resposta Oscilatória Evocada Transitória de 40 Hz	35
3.2.2. Resposta oscilatória de 40 Hz tipo “Regime Permanente” (<i>steady-state</i>)....	39
3.2.3. Resposta oscilatória gama induzida (30 a 80 Hz)	41
3.3. Quanto ao Teste de Stroop.....	43
3.4. Processamento dos Sinais Referentes às Realizações – a Média Coerente das Épocas do Sinal no Domínio do Tempo.....	50
4. Materiais e Métodos.....	54
4.1. Casuística.....	54
4.1.1. Critérios de Inclusão	54
4.1.2. Critérios de Exclusão.....	54
4.1.3. Características da casuística.....	54
4.2. Procedimento Experimental.....	55
4.3. Aquisição dos Dados.....	58
4.3.1. Dados Comportamentais.....	58
4.3.2. Dados Eletrofisiológicos.....	58

1. Introdução

Apesar da vultosa evolução tecnológica experimentada nas últimas décadas, a definição e a avaliação clínica da consciência, a propriedade humana mais sublime, continuam sendo pragmáticas. Ambas se baseiam na aparência do indivíduo avaliado e de quão apropriadas são suas respostas a estímulos externos e necessidades próprias.

Analicamente, podem-se identificar dois componentes fisiológicos fundamentais da consciência: o **nível** de consciência, e o seu **conteúdo**. O primeiro componente, o nível de consciência, é propriedade pré-requisito para a maioria das experiências cognitivas. Trata-se de uma variável contínua, também denominada de vigília, e entendida como o quão desperto está o indivíduo. Gradua-se do estado de plena vigília, em que o indivíduo está apto a receber estímulos ambientais, ao coma, estado em que permanece de olhos fechados, incapaz de ser despertado, de perceber e atender adequadamente aos estímulos ambientais e necessidades internas (POSNER *et al.*, 2007).

A vigília é propriedade necessária, mas não suficiente para a plenitude da expressão da consciência. As situações patológicas da ‘Demência’, ‘Estado Minimamente Consciente’, ‘Estado Vegetativo’ e ‘Catatonia’ materializam tal postulado. Nestas síndromes, evidencia-se a vigília, inclusive com presença do ciclo sono-vigília. Entretanto, a interação com o ambiente está completamente deturpada, denunciando o grave comprometimento da consciência em seu outro componente funcional: seu conteúdo, caracterizado pelo somatório de todas as funções cognitivas e afetivas (BRAZIS *et al.*, 2007).

Evidências neuropsicológicas e neurofisiológicas sugerem que a consciência deve ser compreendida como uma função que integra vários sistemas cerebrais interativos, incluindo áreas sensitivas, estruturas relacionadas à memória, centros de controle executivo, assim como circuitos que medeiam emoção e motivação (ENGEL; SINGER, 2001). O indivíduo em plena capacidade de sua consciência, portanto, sendo continuamente bombardeado por inúmeros estímulos ambientais, deve estar apto a atentar e concentrar-se naqueles considerados mais relevantes, percebendo-os, processando tais informações conforme experiências vividas, necessidades internas e contexto atual e, temperado pelo afeto, responder adequadamente a estes estímulos,

optando por uma, dentre inúmeras possíveis estratégias de ação ou comportamento (DELACOUR, 1997; YOUNG; PIGOTT, 1999).

O processamento da atenção é complexo: “[...] devemos deter-nos a características específicas do objeto, apesar de sermos continuamente atraídos por outros estímulos ambientais” (MAC LEOD; MAC DONALD, 2000), mas é prodigiosa na capacidade de focalizar aspectos selecionados do ambiente: [...] podemos ser capazes de nos atentar ao som dos violinos de uma orquestra sinfônica ou a determinado elemento de uma elaborada iguaria culinária, a despeito de todos os outros elementos musicais ou ingredientes (modificado de MELORA; ALGOM, 2003). Modulada tanto por propriedades do fenômeno a ser atendido (controle exógeno) quanto por motivações volitivas do sujeito (controle endógeno), a capacidade de direcionar o processamento cognitivo a determinados aspectos dos fenômenos externos ou internos – a atenção – é um processo ativo, sujeito a interferências, porém crucial a uma interação adequada com o ambiente (MAC LEOD; MAC DONALD, 2000).

Em determinadas circunstâncias, a oposição de forças relativas à atenção (direcionada por características do estímulo ou pela vontade do sujeito) associada à questão do quão automático se desenvolve o processamento cognitivo, resulta em situações de conflito ou interferência entre os componentes informativos do estímulo (ex.: componentes verbais e não-verbais), influenciando o padrão de resposta. Isto é o que ocorre nas diversas variedades do Teste de Interferência entre Nome-Cor, originalmente elaborado por John Ridley Stroop em 1935.

Tais conflitos ou interferências são fácil e consistentemente explicitados. O tempo de reação entre o estímulo apresentado (palavras referentes a nomes de cores ou neutras, tingidas por matizes equivalentes ou distintas ao referido nome – estímulos **coincidentes**, **não-coincidentes** e **neutros**, respectivamente) e a resposta do voluntário (identificar a matiz do estímulo independentemente da palavra) é significativamente maior quando não há equivalência entre os componentes cognitivos do estímulo (por exemplo, **AZUL**), quando comparado aos estímulos neutro (p.ex.: **ABCD**) e coincidente (p.ex.: **VERMELHO**). A essa diferença significativa entre os tempos de reação dá-se o nome de Fenômeno (ou efeito) de Interferência de Stroop. Esse paradigma tem sido um dos mais utilizados em estudos neuropsicológicos da atenção.

As versões atuais deste paradigma têm se beneficiado da tecnologia do computador, capaz de exibir seqüências de estímulos apresentados individualmente e aleatoriamente, permitindo maior precisão na aferição de itens específicos e maior

controle sobre a forma de exposição. Tal tecnologia permite, também, adequada acoplagem com a interface do EEG (ou MEG) quantitativo, na circunstância de um monitoramento eletrofisiológico do paradigma.

Outra variação do teste envolve a modalidade de resposta (originalmente verbal). Motivados pela questão se o fenômeno de interferência diferia em distintos tipos de resposta, vários estudos utilizando respostas manuais (pressionar teclas) ao paradigma de Stroop foram elaborados, sendo estes encabeçados por White (1969). Entretanto, as complexas versões manuais originais exigem várias sessões de treinamento até que se alcance rapidez e precisão suficientes (POLICH, 1999).

O Teste de Stroop vem sendo utilizado, também, como um paradigma analisador das habilidades cognitivas “executivas”. Estudos de neuroimagem funcional vêm contribuindo para melhor compreensão das regiões cerebrais envolvidas nesta tarefa. Entretanto, importantes questões metodológicas surgem nos procedimentos de neuroimagem funcional devido à limitada resolução temporal inerente a estas tecnologias. Para viabilizar a aplicação do teste de Stroop utilizando a neuroimagem, o desenho metodológico do modelo em “blocos” (blocos de “estímulos coincidentes” e blocos de “estímulos não-coincidentes”) tem sido adotado. Entretanto, como apontado por Liotti (2000), é provável que se utilizem, nestas condições, estratégias cognitivas distintas das usadas no teste (desenho metodológico) original.

Estudar eletrofisiologicamente o desempenho de sujeitos normais submetidos ao teste de Stroop ou suas variações traz a vantagem da alta resolução temporal desta metodologia, apesar de sua precária resolução espacial. Isto possibilita identificar a orquestração dinâmica da atividade elétrica das regiões corticais cerebrais envolvidas no processamento da tarefa, utilizando o modelo metodológico “adequado” de apresentação dos estímulos (estímulos coincidentes e não-coincidentes apresentados aleatoriamente e em igual proporção num mesmo bloco experimental) (LIOTTI, 2000). A opção pela modalidade manual de resposta eliminaria o significativo problema dos artefatos de movimentação dos músculos faciais inerentes à vocalização, permitindo análise mais precisa do sinal eletrofisiológico (SUGG; MCDONALD, 1994 *apud* POLICH, 1999).

A aplicabilidade dessa metodologia na prática clínica diária, entretanto, exigiria técnica mais simples que não necessitasse de extensos períodos de treinamento ou adaptação. O desenvolvimento de um método que permitisse analisar o fenômeno de

Interferência usando opções mais simples de respostas motoras viabilizaria essa demanda.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivos Cognitivo-Comportamentais

Avaliar se o *Teste de Compatibilidade entre Nome e Matiz de Cores com Respostas Motoras Manuais Simplificadas* também é dotado do fenômeno de Interferência de Stroop, bem como se certificar de que a direção da diferença (assimetria) entre as latências das respostas (aos estímulos coincidentes e não-coincidentes) se relaciona com o fenômeno de Stroop, e não com vieses de habilidade e destreza manuais próprias à dominância manual. Além disso, analisar parâmetros comportamentais referentes ao paradigma e correlacioná-los entre si.

1.1.2. Objetivos Cognitivo-Eletrofisiológicos

Analisar os Potenciais Relacionados a Eventos, particularmente o P300 e o N400, mediante estimulação cognitiva com o *Teste de Compatibilidade entre Nome e Matiz de Cores com Respostas Motoras Manuais Simplificadas*.

Finalmente, correlacionar as variáveis comportamentais e eletrofisiológicas.

2. Bases Teóricas

2.1. Bases Neurofisiológicas

A estimulação sensorial adotada em diversas variações do teste de Stroop é plenamente visual. Das modalidades sensitivas, a visão é a aferência que agrega maior número de componentes (ou atributos) sensitivos (tais como forma, cor, movimento, profundidade). Possibilita, dessa forma, maior probabilidade de eventos de “interferência” (ou conflitos) entre esses componentes informativos do estímulo.

2.1.1. Fundamentos da Percepção Visual

Graças às informações sensoriais – os sentidos – os indivíduos são capazes de perceber e interagir com o meio. As diversas formas de energias ambientais: mecânicas (tato e audição), luminosa (visão) e químicas (olfato e paladar), devem ser transformadas em informações neurais (impulsos nervosos), por meio de receptores periféricos. Estes funcionam como verdadeiros transdutores, relativamente seletivos a cada tipo de informação. Na prática, as formas de interação entre as fontes destas energias (objetos e fenômenos ambientais) e o indivíduo, com todo seu arsenal receptivo, poderiam ser resumidas em duas: interação íntima, como a que ocorre nos sentidos do tato e do paladar; e interação a distância ou remota, como no olfato, audição e, sobretudo, visão. Estas últimas, as formas de interação à distância, permitem maior abrangência do meio externo. De fato, nos primatas, especialmente no ser humano, grande parte das impressões e memórias do mundo são baseadas em imagens (KANDEL; WURTZ, 2000).

Apesar dos olhos compartilharem características de câmara óptica, projetando imagens invertidas bidimensionais sobre os fotorreceptores (bastonetes e cones) da retina, as percepções visuais são tridimensionais, com atributos de forma, profundidade, cor e movimento. A percepção visual, portanto, parece ser um processo criativo que extrapola as informações recebidas e transmitidas pela retina. De acordo com a interpretação acadêmica *Gestalt* (palavra alemã significando *configuração*): o que se “vê” representaria não somente as propriedades dos fenômenos externos (objetos), mas também a organização e composição das informações sensoriais de acordo com regras computacionais inerentes ao sistema neural envolvido, ou seja, vê-se aquilo que a retina

é capaz de processar e na configuração que o cérebro é capaz de elaborar (KANDEL; WURTZ, 2000; HERCULANO-HOUZEL, 2001).

O estímulo externo, incidindo sobre sistema sensorial como a visão, gera atributos ou componentes sensitivos distintos, tais como: forma, cor, profundidade, e movimento, todos reordenados na percepção de uma entidade única, a representação do objeto. Essa representação depende de diversas regiões cerebrais relativas à visão, que podem ser dicotomizadas nas, pelo menos, duas principais vias de processamento visual: a via dorsal e a via ventral, cada uma responsável pelo processamento de determinados atributos sensitivos. Tais vias visuais, funcionando de forma paralela e interativa, iniciam suas individualizações já ao nível da retina.

2.1.1.1. Processamento Visual: da Retina ao Núcleo Geniculado Lateral.

A retina humana é composta por dois tipos de fotorreceptores, a saber: os cones e os bastonetes, que respondem à luminosidade variando seus potenciais de membrana. Os bastonetes são especializados na visão noturna ou em penumbra, pois são altamente sensíveis à luz. Neste sistema, há maior quantidade de pigmento fotossensível e amplificação do sinal luminoso, permitindo maior captação de luz e sensibilidade suficiente à identificação de um único fóton. Há grande convergência do sinal luminoso no sistema dos bastonetes, pois vários receptores fazem sinapse com um único interneurônio, a célula bipolar, reforçando a sensibilidade à luz, mas reduzindo a acuidade e resolução espacial desse sistema. Também possuem menor resolução temporal, com longos tempos de integração e respostas lentas, impedindo uma resolução superior a 12 Hz. Há um único tipo de pigmento fotossensível nos bastonetes, proporcionando visão acromática neste sistema (HE; MACLEOD, 2000).

A visão proporcionada pelo sistema de cones é especializada para a luminosidade diurna, pois é de menor sensibilidade. Há menor quantidade de pigmentos fotossensíveis em cada cone, menor amplificação, além de menor convergência do sinal luminoso: um cone faz sinapse com um único interneurônio bipolar. Entretanto, o diâmetro de cada cone é menor que o diâmetro dos bastonetes, e são dispostos agrupados, bem adjacentes uns aos outros, circunscritos à fóvea, permitindo grande resolução espacial. O tempo de integração é curto, com rápidas respostas e alta resolução temporal, detectando frequências de sinal luminoso superiores a 55 Hz. Existem três tipos de cones, cada um possuindo um tipo de pigmento fotossensível: o cone S, com pigmento sensível a curtos comprimentos de onda do espectro visível (pico

de absorção em torno de 420 nm); o cone M, com pigmento sensível a comprimentos de onda médios (pico de absorção em torno de 530 nm); e o cone L, com pigmento sensível a longos comprimentos de onda (pico de absorção próximo a 560 nm). O sistema de cones, portanto, proporciona uma visão cromática de alta acuidade (HEYWOOD; KENTRIDGE, 2003).

As informações da retina, entretanto, são transmitidas pelos axônios das células ganglionares, os formadores do nervo óptico. As células ganglionares localizam-se na “camada de células ganglionares”, a camada celular mais interna da retina, e carregam a informação visual sob a forma de trens de potenciais de ação. A interação entre os fotorreceptores e as células ganglionares depende dos interneurônios (células bipolares, horizontais e amácrimas), que participam, também, no processamento periférico da informação visual. O “tônus” de atividade espontânea (frequência de potenciais de ação) de uma célula ganglionar é modulado pelas aferências originadas em interneurônios, que se interconectam com fotorreceptores de uma região circunscrita da retina – seu campo receptivo (KANDEL; WURTZ, 2000).

As células ganglionares (CG), em sua maioria, podem ser qualificadas funcionalmente em três classes: CG **M**, de *magni* (grande) ou célula *parasol*; CG **P**, de *parvi* (pequena) ou célula *anã*; e a CG **K**, de Koniocelular (“pequena como poeira”) ou biestratificada. Cada região da retina transmite informações originadas nos mesmos fotorreceptores através de seus subconjuntos funcionalmente distintos de células ganglionares (M, P e K). As células M possuem campos receptivos grandes, respondem de forma relativamente transitória à iluminação contínua e de forma ótima a grandes objetos, estando aptas a acompanhar variações rápidas da luminosidade do estímulo. Acredita-se, dessa forma, que estejam envolvidas na análise de características grosseiras do estímulo e na detecção de movimento. As células P possuem pequenos campos receptivos, são mais numerosas e respondem seletivamente a estímulos luminosos com comprimentos de onda específicos. Estão envolvidas, provavelmente, na análise de detalhes da forma e cor dos objetos. As células K, recentemente identificadas, correspondem a cerca de 10% das células ganglionares retino-geniculadas e possuem campos receptivos muito largos. Caracterizam-se por terem resolução espacial, velocidade de condução e sensibilidade ao contraste, intermediárias. São sensíveis à oposição azul-amarelo e, provavelmente, contribuem para a percepção cromática. Portanto, é na retina, nas células ganglionares, que se inicia a segregação do

processamento visual, originando suas duas principais vias paralelas (KANDEL; WURTZ, 2000; GIRKIN; MILLER, 2001).

Os axônios das células ganglionares, após mielinização e formação dos nervos ópticos, destinam-se aos principais alvos subcorticais da via visual: o pré-tecto, envolvido com os reflexos pupilares; o colículo superior, relacionado ao controle dos movimentos oculares sacádicos; e o núcleo geniculado lateral, o principal relé das vias envolvidas na percepção visual. Aproximadamente 90% dos axônios ganglionares retinianos acessam os núcleos geniculados laterais (NGL), e o fazem de forma ordenada, de modo que estes núcleos respeitam organização retinotópica referente ao hemisfério visual contra-lateral. Cerca de metade da massa neural dos NGL refere-se à representação das foveas. Cada núcleo é composto por seis lâminas de corpos celulares, separadas por camadas intralaminares constituídas por dendritos, axônios e os pequeníssimos corpos celulares das células geniculadas Koniocelulares (K). As duas lâminas mais ventrais são denominadas de *lâminas magnocelulares*, pois contêm células relativamente grandes e recebem informações, principalmente, das células ganglionares M. As demais quatro lâminas mais dorsais, *lâminas parvocelulares*, recebem aferências das células P. As células geniculadas referentes aos dois tipos de lâmina possuem respostas distintas a diferentes atributos do estímulo visual (Quadro 1), a saber: sensibilidade à cor, contraste de luminosidade, frequência espacial (número de repetições de padrões por ângulo do campo visual), e frequência temporal (repetições de padrões por tempo). As células geniculadas K, localizadas entre as lâminas, parecem constituir um terceiro canal ao córtex estriado. As aferências do sistema Koniocelular originam-se nas células ganglionares K e sua função, ainda a ser definida, parece estar envolvida na percepção de cores. Dessa forma, os núcleos geniculados laterais perpetuam a segregação, iniciada na retina, do processamento destes predicados da informação visual, estendendo-a até o córtex visual primário (KANDEL; WURTZ, 2000; GIRKIN; MILLER, 2001).

Quadro 1: Diferenças entre sensibilidades a diferentes características do estímulo visual e localização das células geniculadas. NGL – núcleo geniculado lateral (modificado de Kandel & Wurtz, 2000).

<i>Atributo Visual</i>	<i>Sensibilidade</i>		
	<i>Células NGL M</i>	<i>Células NGL P</i>	<i>Células NGL K</i>
Contraste de Cor	Não	Sim	Oposição Azul /Amarelo
Contraste de Luminosidade	Alta	Baixa	Moderada
Frequência Espacial	Baixa	Alta	Moderada
Frequência Temporal	Alta	Baixa	Moderada
Localização	Lâminas 1 e 2	Lâminas 3, 4, 5 e 6	Entre as lâminas

2.1.1.2. Processamento Visual: o “Córtex Visual”

Cerca de 50% da massa neocortical de primatas não-humanos são destinadas ao processamento da informação visual (figura 1; quadro 2). Foram identificadas mais de 30 áreas corticais extra-estriadas possuindo representação da retina (VAN ESSEN, 1991), mas as aferências geniculadas acessam o manto cortical através do córtex visual primário, o *córtex estriado* (a área 17 de Brodmann), também chamado de área visual 1 – V1. Em humanos, esta região é dotada de seis camadas celulares, sendo a camada quatro a principal via de aferência, que por sua vez, é subdividida em quatro subcamadas: 4A, 4B, 4C α e 4C β .

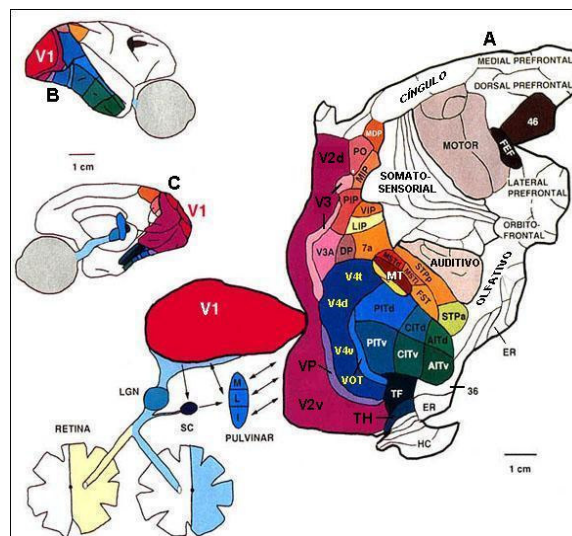


Figura 1: A - áreas corticais do cérebro de macaco, expostas num plano, salientando as relações fronteiriças. Regiões corticais com representações retinianas, estão exibidas em cores. B e C – perspectiva anatômica destas áreas (legendas no quadro abaixo. Modificado de Van Essen, 1991).

Quadro 2: Legendas referentes à figura 1.

LOBO	Acrônimo	Nome
Occipital	V1	Área visual 1
	V2(v & d)	Área visual 2 (ventral e dorsal)
	V3	Área visual 3
	VP	Ventral posterior
	V3A	Área visual V3A
	V4	Área visual 4
	VOT	Occipito-temporal ventral
	V4t	V4 transicional
	MT	Temporal medial
Temporal	FST	Assoalho temporal superior
	PIT(v & d)	Temporal inferior posterior
	CIT(v & d)	Temporal inferior central
	AIT(v & d)	Temporal inferior anterior
	STP(a & p)	Temporal superior (anterior e posterior)
	TF	TF
	TH	TH
Parietal	MST(l & d)	Temporal superior medial (lateral e dorsal)
	PO	Parieto-occipital
	PIP	Intraparietal posterior
	LIP	Intraparietal lateral
	VIP	Intraparietal ventral
	MIP	Intraparietal medial
	MDP	Parietal dorsal medial
	DP	Prelunar dorsal

De forma semelhante ao núcleo geniculado lateral, o córtex estriado recebe informações referentes ao hemisfério visual contra-lateral. O mesmo ocorre quanto à representação ocular: as lâminas geniculadas 1, 4 e 6, recebem fibras da hemiretina nasal do olho contra-lateral, enquanto que as lâminas geniculadas 2, 3 e 5, recebem fibras da hemiretina temporal do olho ipsilateral; o córtex visual primário, também manifesta padrão de dominância ocular, mas sob a forma de bandas, ou colunas (dependendo da orientação do corte histológico), intercaladas na camada cortical 4, constituindo um sistema modular alternado de dominância ocular (figura 2).

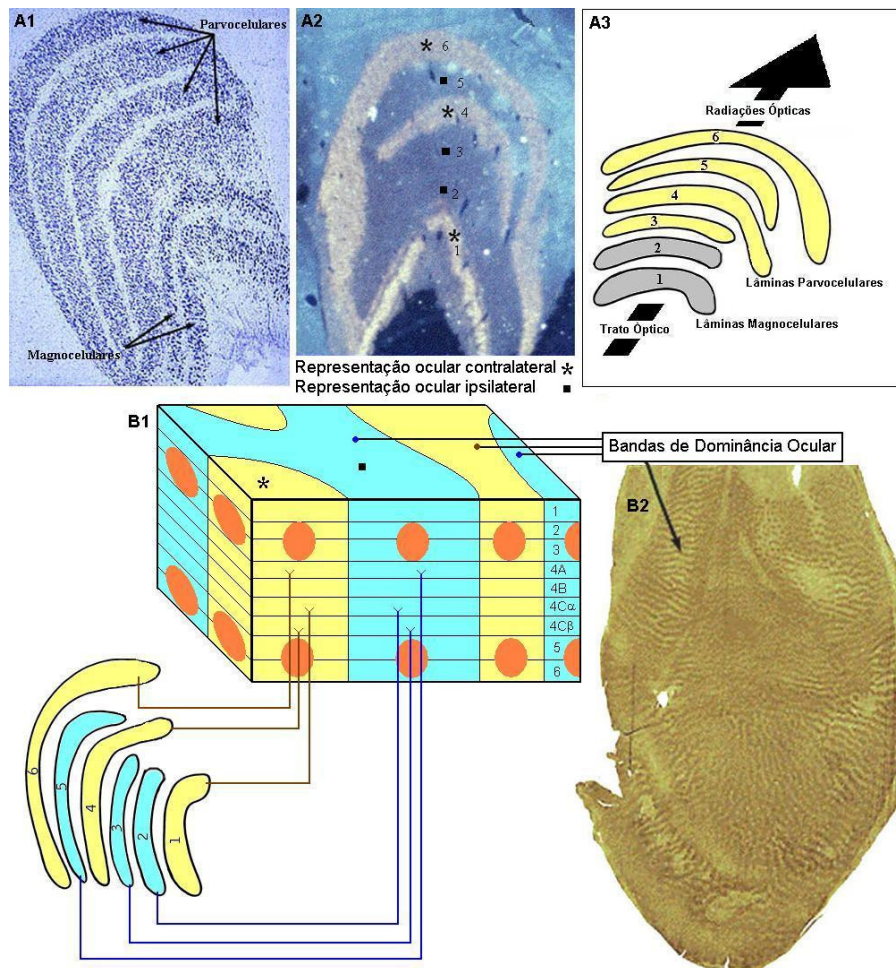


Figura 2: Corpo Geniculado Lateral: preparações histológicas e representação salientando sua laminação (A1 e A3) e padrão de dominância ocular (A2). Representação do córtex estriado com suas bandas de dominância ocular e relação com o núcleo geniculado lateral (B1); preparação histológica do córtex estriado (B2) salientando, pelo método citocromo-oxidase, as bandas de dominância ocular (modificado de Kandel & Wurtz, 2000; Schomolesky, 2000).

Os neurônios estriados possuem campos receptivos bem distintos daqueles referentes às células geniculadas e ganglionares, que são circulares e concêntricos. Os campos receptivos estriados possuem estrutura alongada, salientando um parâmetro dos estímulos visuais, a saber: sua orientação espacial, ou seja, os neurônios estriados são sensíveis à disposição espacial do estímulo. As células seletivas a determinadas orientações angulares se dispõem em colunas transversais ao córtex, da superfície pial à substância branca. Colunas adjacentes possuem seletividade a orientações angulares ligeiramente distintas, de modo que um módulo de colunas de orientação, abrangeria

cerca de 180° de orientação angular referente a uma pequena porção do campo visual (figura 3).

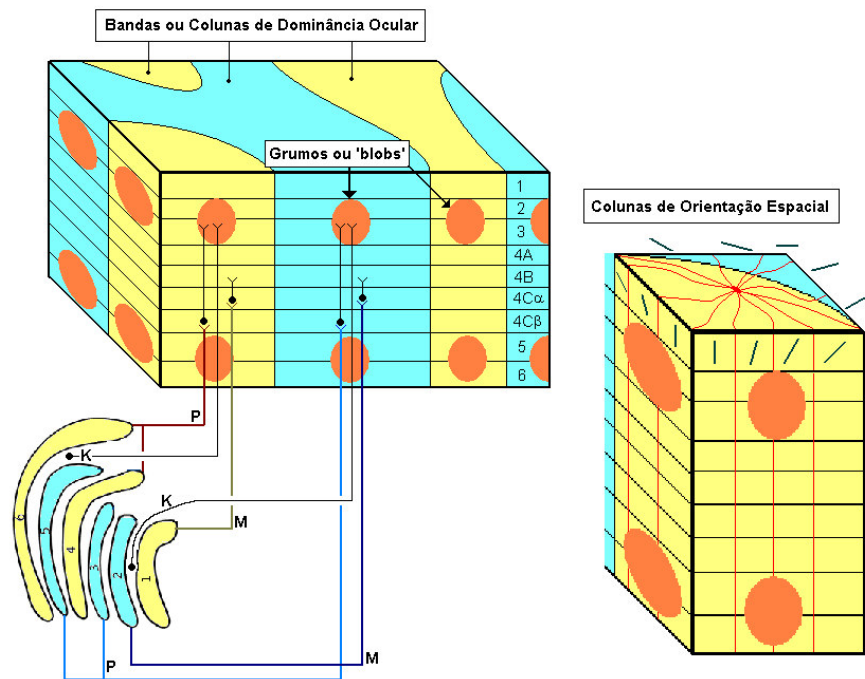


Figura 3: Representação do conceito da hipercoluna, integrando o padrão de dominância ocular do córtex estriado, com os módulos de orientação espacial e com os grumos celulares (*blobs*). Também são representadas as aferências geniculadas parvocelulares (P), magnocelulares (M) e koniocelulares (K), com seus respectivos destinos dentro das camadas estriadas (modificado de Kandel & Wurtz, 2000).

Entretanto, neurônios dispostos sob a forma de pilares, principalmente nas camadas 3 e 2 do córtex V1, expressam intensa atividade da enzima citocromo-oxidase e possuem campos receptivos circulares, insensíveis à orientação espacial, mas sensíveis à oposição de cores. São os “grumos” ou *blobs*, na língua inglesa (figura 3).

Hubel e Wiesel, reunindo os módulos funcionais encontrados em V1, introduziram o conceito de hipercoluna (figura 4), a saber: seria a unidade funcional do córtex estriado, capaz de processar a informação de uma porção modular do campo visual. Representaria a complexa relação entre as colunas de dominância ocular, colunas de orientação espacial e os grumos (*blobs*), processando os componentes da percepção visual: orientação espacial, interação binocular, cor e movimento.

Considerando a camada 4, a subcamada 4C pode ser considerada como a principal via de aferências do córtex visual. Os axônios das células geniculadas M

terminam, principalmente, na subcamada 4C α . A maioria dos axônios das células P termina na subcamada 4C β . E as células K enviam seus axônios aos grumos (os “*blobs*”) localizados nas subcamadas 2 e 3. Com exceção da camada 4C, todas as outras camadas corticais são fontes de eferências de V1. Os axônios das células residentes acima da camada 4C, destinam-se a outras áreas corticais (conexões córtico-corticais): as eferências das camadas 2 e 3 projetam-se para as áreas V2, V3 e V4, constituindo a via ventral; e as eferências da camada 4B destinam-se à área temporal média (V5 ou MT), constituindo a via dorsal. Os axônios das células abaixo da camada 4C destinam-se a alvos subcorticais: a camada 5 envia axônios ao colículo superior, pulvinar e ponte; e a camada 6 projeta axônios, retrogradamente, em direção ao núcleo geniculado lateral.

Além dos estudos realizados, principalmente, em cérebros de primatas, delineando essas estruturações e circuitos, informações clínicas neurológicas e, mais recentemente, estudos de imagem funcional, corroboram o conceito das duas vias principais de processamento visual (MESULAM, 1998):

1. **A via ventral**, originada nas células ganglionares P e, provavelmente, K; passando pelos canais das células geniculadas P e K; acessando o córtex por V1 e estendendo-se por V2, V3 e, finalmente, V4. Responsável pela definição da forma e cor do estímulo visual. Em humanos, estudos baseados em neuroimagem funcional, documentaram ativação seletiva da região posterior do giro lingual e do giro fusiforme, em resposta à estimulação cromática. Essas regiões constituem o homólogo humano da simiesca região V4, cuja lesão proporcionaria estado de hemi-acromatopsia contra-lateral (perda da percepção de cores), sem concomitante perda da percepção de movimentos. A percepção de formas simples ou complexas, em humanos, parece depender, também, de parte do giro fusiforme e do giro lingual, além do giro occipital inferior. Em comparação com o cérebro símio, os componentes da via visual ventral humana parecem ter sido deslocados no sentido ventro-medial, provavelmente devido à expansão dos córtices parietal e temporal lateral (MESULAM, 1998).

2. **A via dorsal**, originada nas células ganglionares M, passando pelo canal das células geniculadas M, por V1, V2 e destinando-se ao córtex V5, ou área temporal média. É responsável pela noção espacial e percepção de movimento do estímulo visual. A área homóloga humana ao córtex V5 seria a área occípito-temporal lateral, na confluência entre as áreas de Brodmann 19 e 37, cuja lesão

proporciona um estado de acinetopsia, ou seja, perda da capacidade de perceber movimentos visuais, sem perda da acuidade visual e percepção cromática.

De que maneira, entretanto, a informação visual com atributos elementares (cor, forma, profundidade e movimento) processados em diferentes áreas corticais, poderia tornar-se uma percepção integrada, coesiva e coerente? Esse questionamento, o “problema da integração” (*binding problem*), ainda sem conclusão satisfatória, não é exclusividade da percepção visual, mas consiste num dos maiores desafios do estudo da neurobiologia da consciência, e será abordado posteriormente.

2.1.1.3. Reconhecimento de Padrões – Uma Estratégia Visuoperceptiva

Ainda, se a identificação dos objetos e eventos visuais fosse baseada numa compilação seqüencial desses atributos elementares, a percepção, provavelmente, tomaria muito tempo, inviabilizando o rápido reconhecimento de padrões importantes e freqüentemente encontrados na vida de relação, como faces, alguns objetos e palavras. Essa potencial limitação talvez seja suplantada no quarto nível hierárquico sináptico (figura 4), onde grupos neurais, seletivamente sintonizados em categorias visuais específicas, promovem rápida identificação de alguns padrões como faces e palavras (MESULAM, 1998).

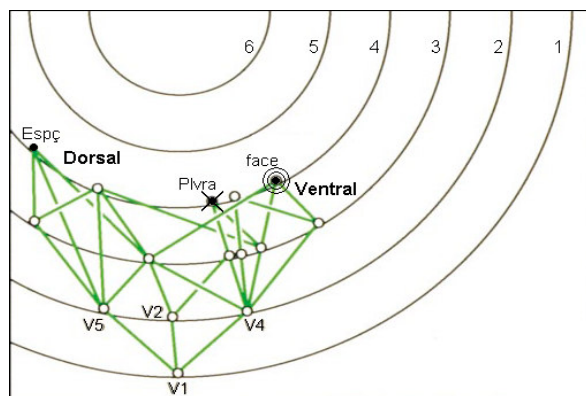


Figura 4: Representação dos níveis hierárquicos sinápticos concêntricos no córtex cerebral humano, considerando as vias visuais “paralelas” (Ventral e Dorsal). Cada círculo é separado do seguinte por, pelo menos, uma unidade de distância sináptica. O nível 1 é ocupado pelo córtex sensorial primário (córtex estriado). As conexões entre as áreas corticais (representadas por pequenos círculos) são recíprocas, sejam aquelas ocorrendo no mesmo nível (contínuas no arco do círculo), sejam aquelas ocorrendo entre níveis (representadas por segmentos de retas verdes). As áreas identificadoras de faces (face, com círculos concêntricos), palavras (Plvra, com círculo cruzado) e disposição espacial (Espç, com círculo em negrito), ocupariam o quarto nível hierárquico sináptico (modificado de Mesulam, 1998).

Estudos eletrofisiológicos e de imagem funcional em indivíduos normais e pacientes portadores de prosopagnosia (desordem caracterizada pelo não reconhecimento de faces), indicam o giro fusiforme lateral (bilateral, com predomínio em hemisfério direito) como o responsável pela identificação de faces em humanos (PUCE, 1996; ISHAI, 1999). A identificação de objetos comuns, como cadeiras e casas, também ocorre neste nível sináptico (MESULAM, 1998): no giro fusiforme medial, considerando a identificação de casas e construções; e no giro temporal inferior, na identificação de cadeiras (ISHAI, 1999). A síndrome clínica caracterizada pelo não reconhecimento de objetos visuais, por prejuízo da percepção visual, a despeito de preservadas acuidade e identificação visuais de cores, brilho e movimento, denomina-se agnosia visual aperceptiva (FARAH; FEINBERG, 1997).

Essas regiões identificadoras de objetos também seriam capazes de distinguir a forma visual das palavras e seqüências de letras. Ademais, possivelmente, outra área processadora de palavras num estágio pré-léxico e pré-semântico, se localizaria em região occipito-temporal, mais lateral. A ativação dessa região, mediante estimulação por seqüências de letras, é bilateral, com predomínio à esquerda, ou seja, haveria uma vantagem do hemisfério esquerdo no processamento pré-léxico da leitura (PUCE, 1996; JOSEPH; NOBLE; EDEN, 2001).

2.1.1.4. A Relação entre Percepção Visual e Linguagem.

A escrita e a leitura são tecnologias relativamente recentes na saga humana. Enquanto a linguagem falada é habilidade aprendida durante o desenvolvimento da criança, a capacidade para sua aprendizagem é inata ao ser humano, ocorrendo em todos os povos e possuindo circuito neural próprio, provavelmente, geneticamente programado. A linguagem escrita, entretanto, possui menos de 5000 anos de existência, não ocorre em todos os povos, e a organização da região cortical capaz de identificar formas de palavras é, quase certamente, não geneticamente programada (MESULAM, 1998; DRONKERS; PINKER; DAMASIO, 2000). Uma provável possibilidade para essa organização consistiria numa modificação funcional empírica de subgrupos de neurônios pertencentes a áreas destinadas a decodificar faces e objetos. Se assim for, as áreas identificadoras das formas visuais das palavras escritas processá-las-iam como objetos em vez de símbolos (MESULAM, 1998).

A área de Wernicke, córtex altamente heteromodal e crítico na compreensão da informação lingüística, é anatomicamente contígua, posteriormente, com o giro angular,

córtex, também, heteromodal. O giro angular é estação essencial para sistemas responsáveis para o processamento de formas visuais de palavras, e recebe informações diretas do córtex têmporo-occipital. O giro angular comporta-se, portanto, como um integrador de informações visuais e somestésicas necessárias à leitura, conectando-as com a área de Wernicke e, junto com esta, constituindo o circuito lingüístico no hemisfério dominante (FRIEDMAN; WEEN; ALBERT, 1993; JOSEPH *et al.*, 2001).

2.1.2. O “Problema de Integração” (*Binding Problem*) dos Sinais Neurais

Retornando à questão do “problema de integração,” como uma forma sólida esférica integrar-se-ia com o atributo visual de sua cor amarela e, associado ao caráter dinâmico de seu deslocamento hiperbólico, proporcionaria a cena de uma bola de futebol deslocando-se para o gol? Ou seja, como os predicados elementares visuais, processados em distintas regiões do córtex cerebral, integrar-se-iam numa percepção coerente?

2.1.2.1. Conceitos Básicos.

Se cada padrão de estímulo, ou seja, cada combinação de predicados visuais, fosse codificado por um neurônio, seria necessário número superior ao contingente cortical, tornando essa estratégia improvável para a resolução da percepção (no caso de ser a única). Esse é o princípio da “explosão combinatória”, argumento que sustenta a necessidade de um processo de integração dos atributos dos estímulos (GHOSE; MAUNSELL, 1999). Tal integração torna-se mais crítica e especialmente importante quando mais de um objeto visual participa da cena. O processo de integração deve evitar incorretas combinações de atributos pertencentes a objetos distintos, erro conhecido como “conjunção ilusória” (TRIESMAN; SCHMIDT, 1982 *apud* ROSKIES, 1999, p. 7). Diversos paradigmas (figura 5) documentaram o fenômeno da “conjunção ilusória” (TRIESMAN; SCHMIDT, 1982 *apud* WOLFE; CAVE, 1999) e não há concordância quanto ao seu significado. Entretanto, tais erros são incontestáveis evidências da existência de limitações na correta integração dos componentes visuais dos objetos. Essas evidências psicofísicas sugerem que os estágios iniciais do processamento visual decomporiam o cenário visório, em “proto-objetos”, que são caracteres frouxamente organizados, dispostos em localizações específicas no espaço. Os estágios finais, entretanto, responsáveis pelo reconhecimento do objeto, requerem integração mais acurada desses caracteres, assim como representações mais explícitas

das relações entre eles. Portanto, seriam etapas com capacidades processuais mais limitadas, e a seleção atensiva restringiria o processo integrativo mais eficiente, direcionando-o ao alvo da atenção (WOLFE; CAVE, 1999).

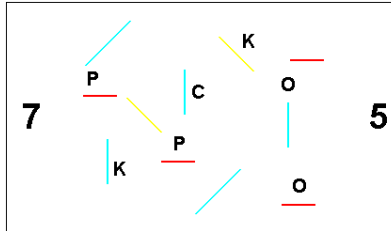


Figura 5: Demonstração da “conjunção ilusória”. Os voluntários são orientados a registrarem os dois números nos flancos do quadro, de modo que suas atenções seriam desviadas das formas coloridas e letras. Os indivíduos foram muito precisos em reportar os dígitos, mas cometeram várias conjunções ilusórias quando interrogados sobre as formas, cores e letras (modificado de Trieman & Schmidt, 1982).

Estudos psicofísicos, neurofisiológicos e de imagem funcional convergem a uma conclusão comum quanto à participação da atenção na “conjunção ilusória”. Quando vários estímulos aparecem no campo receptivo de um único neurônio extra-estriado, sua resposta neural seria ambigualmente associada a qualquer estímulo, levando à “conjunção ilusória”. A atenção eliminaria esses erros, filtrando os estímulos não-alvos, cujos atributos elementares poderiam ser mal-associados às características dos estímulos alvo. Esse processo seletivo ocorre em vários estágios e depende do aumento da eficiência, induzido pela atenção, da discriminação do objeto alvo, potencializando seu sinal nas etapas primitivas do processamento visual, enquanto ainda aparece isolado no campo receptivo neuronal (WOLFE; CAVE, 1999).

Com a progressão anterógrada dos sinais referentes aos múltiplos estímulos para áreas hierarquicamente superiores (de alta ordem), com maiores campos receptivos, haveria competição entre os sinais pelo controle das respostas neurais. A força adicionada ao sinal referente ao estímulo alvo resolveria a competição a seu favor. Conseqüentemente, as respostas dos neurônios das áreas de alta ordem, com grandes campos receptivos, decodificariam somente os sinais referentes ao estímulo alvo, integrando seus predicados elementares. Paralelamente ao controle atensivo, um estímulo visual com características intrínsecas mais ressaltantes (ex.: com maior luminosidade e contraste) também poderia influenciar tal mecanismo competitivo a seu

favor, auxiliando na resolução da “conjunção ilusória” entre os estímulos menos relevantes (REYNOLDS; DESIMONE, 1999).

Tanto os mecanismos relacionados à seleção atenta dos estímulos (processamento atento *top-down*) quanto aqueles relacionados às características intrínsecas do estímulo (processamento pré-atento *bottom-up*) operam, orquestradamente, nas múltiplas áreas componentes das vias de processamento visual, dorsal e ventral, integrando os atributos elementares do estímulo visual, decodificados em diferentes grupos neuronais nos córtices extra-estriados.

2.1.2.2. Sincronização e o “problema de integração” – a integração temporal dos sinais neurais.

É provável que a interação entre as respostas neurais dispersas anatomicamente pelo córtex cerebral seja tão importante quanto as respostas relacionadas a eventos (sejam sensoriais ou motores). Estas últimas, classicamente, sempre foram analisadas pelo registro da atividade de neurônios individuais, e representariam a principal fonte do conhecimento atual a respeito da organização funcional do sistema nervoso (SINGER, 1999). Essa metodologia, porém, negligenciaria qualquer co-variação, em amplitude ou frequência, de respostas dispersas em grupos neurais anatomicamente distribuídos pelo córtex, desde que tais co-variações resultem de interações entre esses grupos, ao invés de variações relacionadas, e temporalmente vinculadas, a eventos.

Para documentar essas interações inter-regionais e suas co-variações nos padrões de atividade neural, há necessidade do registro de múltiplos eletrodos (SINGER, 1999). Com esta metodologia, foi demonstrado que neurônios no córtex visual felino tendem a sincronizar suas atividades (descargas) com precisão na faixa de milissegundos quando eram ativados pelo estímulo (visual) de um único contorno coerente. Tal sincronização não ocorria quando os estímulos consistiam em contornos movendo-se em diferentes direções (GRAY *et al.*, 1989).

O fenômeno de sincronização induzida pelo estímulo e contexto-dependente, também estava associado a notável modulação oscilatória dos disparos neuronais numa faixa de frequência entre 30 e 50 Hz (dentro da banda gama). O fenômeno da sincronização poderia fornecer uma elegante solução ao “problema da integração”, sintonizando, seletivamente, as respostas de neurônios codificadores de um objeto-estímulo, diferenciando suas respostas daquelas referentes a neurônios ativados por outros objetos.

O fenômeno de sincronização já foi documentado em vários estudos animais, em diversas espécies e considerando diferentes sistemas neurais. Alguns aspectos tornam esse fenômeno interessante (ENGEL; SINGER, 2001):

- I- Em todas as espécies e sistemas estudados, a sincronia era muito precisa, com uma janela de coincidência em torno de 10 ms;
- II- A sincronia reflete a topologia do espaço de atributos (*feature space*)¹, é francamente dependente da proximidade entre os campos receptivos, e das similaridades quanto às preferências neuronais relacionadas aos predicados dos estímulos;
- III- A sincronia pode ser internamente gerada (não vinculada ao estímulo [*nonstimulus-locked*]) ou imposta externamente (vinculada ao estímulo [*stimulus-locked*]). O primeiro tipo de sincronia ocorreria em resposta a estímulos carentes de uma caracterizada estrutura temporal, ou devido à atividade autogerada. Seria conseqüente a interações mediadas por conexões recíprocas intrínsecas. O último tipo se caracterizaria pelo íntimo vínculo de fase (*phase-locked*) com o estímulo, ocorreria em resposta a rápidos estímulos transitórios, e seria conseqüente a sinais aferentes sensoriais sincronizados;
- IV- Em vários estudos, tal sincronização estava associada a uma modulação oscilatória das respostas, em frequências na banda gama. E a probabilidade de sincronização variava de forma sistemática quando a coerência perceptiva da constelação de estímulos era alterada.

Portanto, tal sincronia (registrada por múltiplos eletrodos, a nível celular) não poderia ser considerada uma expressão passiva e trivial de conectividades anatômicas, tais como aferências dividindo-se através de bifurcações axonais. Seria, sim, resultado de interações dinâmicas e contexto-dependente, no panorama dos circuitos corticais (SINGER, 1999).

O “problema da integração”, entretanto, não se restringe à percepção visual. De fato, trata-se de uma classe de problemas. Considerando o aspecto unificado da percepção, além da integração dos atributos referentes a estímulos de uma única

¹ Espaço de atributos (*Feature space*) – Na disciplina de reconhecimento de padrões, espaço de atributos seria um espaço abstrato onde cada (amostra) padrão é representado como um ponto num espaço n-dimensional, cuja dimensão é determinada pelo número de atributos usados para descrever tais padrões.

modalidade sensorial, deve-se contemplar, também, a integração de predicados referentes a modalidades sensoriais diferentes. Roskies (1999) referiu-se ao conjunto desses problemas como “problemas de integração perceptivos”. Também definiu os “problemas de integração cognitivos”, que incluiria a questão do relacionamento entre a percepção e seu conceito, identificação entre modalidades e a construção da memória. A integração ocorreria em vários tipos de processos cerebrais referentes ao comportamento consciente.

Voltando ao tema da consciência, parece haver concordância entre autores de que seus principais pré-requisitos fisiológicos seriam (ENGEL;SINGER, 2001):

1. Vigília – como já dito anteriormente, é definida como o quão desperto está o indivíduo. Conseqüente ao “despertar” cerebral por sistemas moduladores não-específicos;
2. Segmentação sensorial – etapa básica no processamento sensorial, envolvendo a detecção e a integração dos predicados dos objetos-estímulo;
3. Seleção – como a atenção, seriam processos que acentuariam a eficácia de determinados subgrupos (aqueles atendidos) de sinais neurais;
4. Memória de trabalho – arquivo de curto-prazo a respeito do contexto atual.

Esses processos requerem ou modulam o funcionamento dos mecanismos de integração dos sinais neurais.

Em seres humanos, estudos eletrofisiológicos usando eletroencefalograma (EEG) ou o magnetoencefalograma (MEG) corroboram tais conclusões. Importantes diferenças metodológicas, entretanto, existem entre o registro efetuado a nível celular (da sincronização e sua modulação oscilatória) e o sinal registrado por EEG ou MEG. Nestes últimos, os fenômenos de sincronização das atividades neurais de áreas corticais afins e a sua estrutura oscilatória não podem ser dissociados, posto que, para ser detectado na superfície do escalpe (EEG e MEG), algum grau de sincronia e integração tempo-espacial da atividade neuronal deve existir, garantindo magnitude mínima para seu registro (RECHTSCHAFFEN; SIEGEL, 2000; LENT, 2001; TALLON-BAUDRY, 2003). Portanto, ambos fenômenos mostram-se agregados, sob a forma de variações de potência, em determinadas bandas de frequência, do sinal registrado.

Os componentes oscilatórios EEG e MEG de alta frequência acentuam-se em estados caracterizados por maior vigília, assim como na transição sono-vigília e durante o sono paradoxal (sono REM). Llinás e Ribary (1993) registraram em MEG atividade de 40 Hz (banda gama) espontânea em indivíduos durante a vigília e sono paradoxal.

Tal atividade estava marcadamente reduzida durante o sono de ondas lentas. Também demonstrou que a atividade oscilatória gama pode ser recrutada por estimulação sensorial (neste caso, auditiva) somente durante a vigília, não encontrando tal “reset” durante o sono REM ou de ondas lentas (figura 6). Esse achado foi considerado a diferença central entre sonho e consciência vígil. Ademais, componentes de alta frequência dos potenciais evocados sensoriais desaparecem sob planos profundos de anestesia geral (SCHWENDER, 1994).

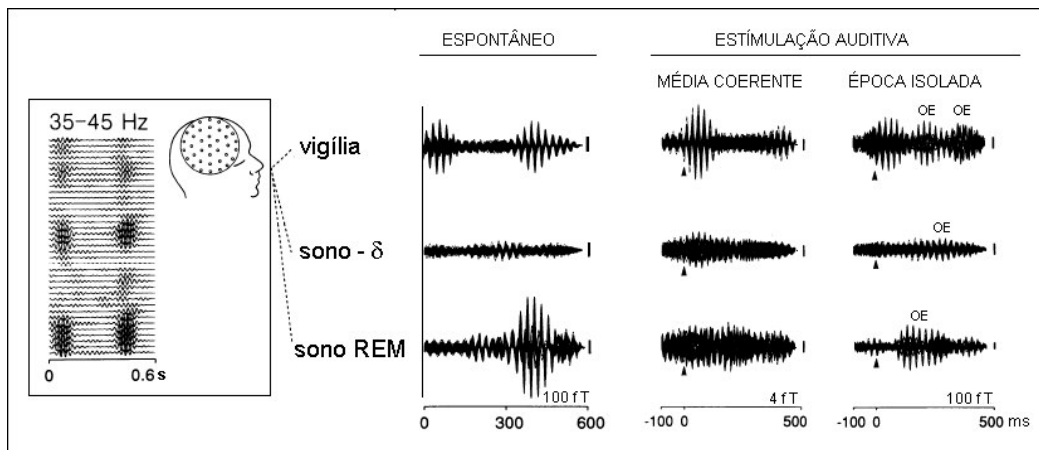


Figura 6: O sinal MEG referente a 37 canais filtrados para banda entre 35 e 45 Hz, foi registrado na vigência de estimulação auditiva, ou na sua ausência (espontâneo). Considerando o registro espontâneo (na figura, os sinais referentes aos 37 canais MEG foram superpostos), observa-se significativa atividade gama durante a vigília e sono paradoxal (sono REM), mas há marcada redução desta atividade no sono de ondas lentas (sono- δ). Considerando a estimulação sensorial (a ponta de seta indica o momento do estímulo), observa-se que a atividade gama só foi recrutada durante a vigília. fT – femtoTesla (unidade das barras de calibração); OE – oscilações espontâneas, não relacionadas com o estímulo (modificado de Llinás; Ribary, 1993).

Também se encontra fundamentação, em estudos humanos, para a participação de mecanismos temporais (sincronização) nas etapas de segmentação e integração perceptivas. O emblemático estudo de Joliot *et al.* (1994) foi o primeiro a documentar a integração de objetos-estímulo no tempo e seu correlato neural. Eles observaram que o intervalo mínimo interestímulo para discriminar cliques (estímulos auditivos) separados, correlacionava-se com o “reset” da atividade oscilatória de 40 Hz MEG. Considerando o intervalo crítico de 12-15 ms para a discriminação dos cliques sonoros, intervalos interestímulos menores evocavam, somente, uma resposta gama, àquela referente ao

primeiro clique. Com intervalos interestímulo maiores, uma segunda resposta gama surgia, coincidindo com a percepção do segundo clique sonoro, indicando que a atividade oscilatória de 40 Hz representaria o correlato neurofisiológico do processamento temporal dos estímulos auditivos. Os autores especularam que a atividade oscilatória evocada na banda gama relacionava-se não somente ao processamento sensorial primário, mas também refletira a integração temporal subjacente à cognição, e que a consciência seria um fenômeno não-contínuo determinado pela atividade sincronizadora do sistema tálamo-cortical (JOLIOT *et al.*, 1994; LLINÁS *et al.*, 1998).

Outro importante e pioneiro estudo relativo à integração perceptiva, desta vez considerando a integração de caracteres visuais, foi elaborado, elegantemente, por Tallon-Baudry *et al.* (1996). Usando três tipos de estímulos, a saber: dois coerentes (triângulo real e triângulo de Kanizsa) e um estímulo incoerente (não-triângulo), observaram que todos os três tipos de estímulos geravam um componente EEG de 40 Hz precoce (~90 ms), “*phase-locked*” com o estímulo (atividade gama evocada) e de magnitude máxima nos eletrodos Cz e C4. Porém, os estímulos coerentes também geravam um segundo componente EEG de 40 Hz, em torno de 280 ms, “*não phase-locked*” com o estímulo (atividade gama induzida) e de magnitude máxima em Cz (figura 7).

O mecanismo de sincronização neural também estaria associado ao processo de seleção de estímulos alvos, ou seja, a atenção. Como já mencionado, a atenção poderia selecionar caracteres relevantes do ambiente, acentuando a capacidade dos neurônios (do córtex sensorial) que representam o estímulo-alvo de influenciar áreas corticais anterógradas hierarquicamente superiores. Conseqüentemente, o sinal neural referente a ele (estímulo-alvo) seria priorizado comparativamente aos sinais dos outros estímulos menos relevantes. Se um neurônio (de uma área de alta ordem) recebe múltiplas influências sinápticas, é mais provável que seja recrutado quando tais influências excitatórias sincronizam-se (SALINAS; SEJNOWSKI, 2001). Assim, (um grupo de) neurônios representando o objeto atendido, terão influência mais eficiente sobre neurônios das áreas de alta ordem quando disparam em sincronia (JENSEN *et al.*, 2007). A atenção seletiva acentua a resposta oscilatória de 40 Hz (sua potência) a estímulos auditivos considerados alvos (tom alvo, destoante do tom padrão). Esse fenômeno foi mais pronunciado nas regiões frontais e centrais do escalpe.

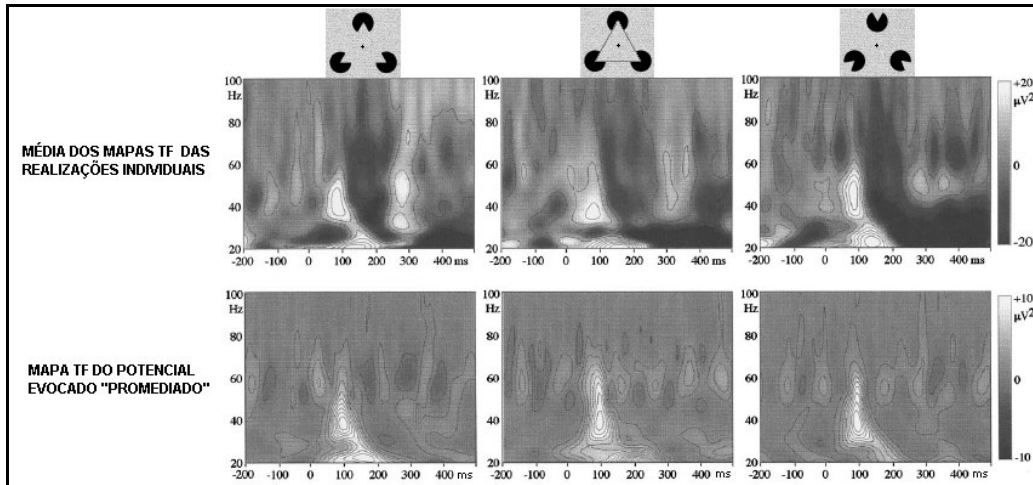


Figura 7: Mapas Tempo-Freqüência de Potência referentes ao eletrodo Cz (média geral entre os indivíduos) – Linha superior: média da potência tempo-freqüência das realizações individuais. Com essa metodologia, recupera-se tanto a atividade “não *phase-locked*” (induzida), quanto a atividade “*phase-locked*” (evocada). Linha inferior: mapa tempo-freqüência de potência do potencial evocado, ou seja, da média coerente das realizações efetivada no domínio do tempo. Primeira coluna: triângulo ilusório de Kanisza (estímulo coerente). Segunda coluna: triângulo real (coerente). Terceira coluna: “não-triângulo” (incoerente). A atividade induzida desaparece na média coerente (modificado de Tallon-Baundry *et al.*, 1996).

O mesmo efeito atento não foi estatisticamente significativo quando bandas de freqüência mais baixas foram consideradas (filtros passa-bandas de 0-30, 0-20, e 10-20 Hz). Tal fenômeno poderia ser considerado o correlato fisiológico da atenção seletiva neste paradigma (TIITINEN *et al.*, 1993). Estímulos-alvo (atendidos) visuais e somatossensitivos geram respostas na banda gama (EEG e MEG) de maior potência que estímulos não-alvo (BAUER *et al.*, 2006; GRUBER *et al.*, 1999; DOESBURG *et al.*, 2007). Um estudo baseado em MEG (figura 8) revelou que a alternância da atenção seletiva entre as modalidades visual e auditiva era acompanhada por acentuação da resposta oscilatória gama nas áreas corticais específicas para a modalidade atendida (SOKOLOV *et al.*, 2004).

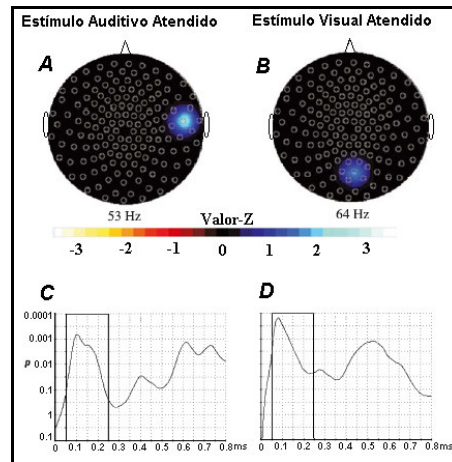


Figura 8: Mapas de probabilidade estatística das variações da atividade gama induzida em resposta a estímulos atendidos A- auditivo. B- visual (modificado de Sokolov *et al.* 2004).

Na investigação da seleção perceptiva, tarefas envolvendo a “concorrência binocular” (*binocular rivalry*) também têm sido usadas, tanto com EEG quanto por MEG. Nessas tarefas, são expostas ao voluntário, concomitantemente, duas imagens incongruentes, uma em cada olho. O voluntário, entretanto, percebe somente uma imagem por vez, e estas se alternam a cada poucos segundos. Utilizando padrões gradeados com inclinações, cores e frequências distintas para cada olho, (método de “etiquetagem pela frequência”) tais estudos revelaram que a potência da resposta “em regime permanente” EEG (BROWN; NORCIA, 1997) ou MEG (SRINIVASAN *et al.*, 1999) na frequência referente a determinado padrão de estimulação, aumentava quando esse padrão de gradeamento era percebido. Também se observou que havia aumento da coerência inter e intra-hemisférica na frequência do estímulo percebido. Esses dados sugerem que a sincronização neural pode ser modificada em função do estado perceptivo e que os mecanismos de integração temporal devem contribuir para a seleção dos sinais que acessam a consciência (ENGEL; SINGER, 2001).

A memória de trabalho, outro pré-requisito fisiológico da consciência, também envolveria a coordenação temporal dos grupos neuronais. A memória de trabalho, um tipo de memória de curto-prazo, é uma construção teórica dentro da neuropsicologia, que se refere às estruturas e processos utilizados para armazenar temporariamente informações e manipulá-las. Tallon-Baundy *et al.* (1998) demonstraram atividade gama induzida EEG, em resposta à tarefa envolvendo ativação de representações mentais de objetos, particularmente quando a representação do objeto era mantida ativa na memória

de trabalho. Tal atividade gama era máxima nos eletrodos frontais e occípito-temporais. Utilizando um paradigma que considera a variação da carga mnemônica, o teste de Sternberg, Howard *et al.* (2003) documentaram, em pacientes epiléticos refratários ao tratamento farmacológico e submetidos a monitorização invasiva com eletrodos subdurais, princípios relativos à carga mnemônica considerados importantes, a saber: a atividade na banda gama aumentava quase linearmente com o aumento da carga mnemônica; a potência dessa atividade gama mantinha-se constante durante o período de retenção da informação; e retornava aos níveis basais (pré-estimulação) quando as informações não mais importavam, após a execução da resposta à tarefa.

Portanto, está documentada no ser humano, a participação da conexão temporal dos sinais neurais, registrada sob a forma de respostas oscilatórias eletrofisiológicas na banda gama, em todos os pré-requisitos fisiológicos da consciência.

De fato, dezenas de funções cerebrais envolvendo diferentes tarefas / paradigmas, estímulos sensoriais e estruturas encefálicas já foram relacionadas com atividade oscilatória em diferentes bandas de frequência (e não somente na banda gama). Tais funções incluiriam: etapas do registro sensorial; eventos perceptivos; comportamentos motores; além de processos cognitivos relacionados à atenção, aprendizado e memória (BAŞAR *et al.*, 2001). A ubiquidade da banda gama, entretanto, empiricamente associada a diversas funções cognitivas e/ou tarefas eminentemente sensoriais, ultrapassa as fronteiras da popular, porém limitada, teoria do “problema de integração”, e sugere uma participação mais ampla como operador das funções cerebrais. Complementarmente, várias evidências experimentais sugerem que as demais bandas espectrais cerebrais de ocorrência natural (delta, teta, alfa e beta), seletivamente distribuídas, também estariam envolvidas na função integrativa. Başar *et al.* (2001), utilizando o conceito da “função de transferência”, a saber: “a habilidade de um circuito (ou sistema) aumentar ou impedir a transmissão de sinais em específicos canais de frequência”, sugerem a existência de circuitos distribuídos pelo cérebro, possuindo frequências características similares, facilitando a intercomunicação em canais espectrais ressonantes. Esses sistemas oscilatórios, seletivamente distribuídos e relacionados a múltiplas funções, forneceria uma estrutura de comunicação geral, atuando como operadores universais da atividade cerebral funcional. Além da frequência e da localização da atividade, outro importante parâmetro relacionado às

oscilações, seria seu vínculo temporal com a estimulação: “*phase-locked*” e “não *phase-locked*” (ou “*time-locked*”).

A próxima seção se ocupará da definição de conceitos básicos relacionados à atividade eletrofisiológica oscilatória, citando mais evidências a favor da participação das bandas espectrais nas funções cerebrais.

3. Atividade Oscilatória Eletroencefalográfica

A atividade elétrica cerebral pode ser registrada por métodos não invasivos, de baixo custo, com alta resolução temporal (da ordem de poucos milissegundos), capazes de detectar no escalpe variações dos potenciais elétricos (no caso do eletroencefalograma – EEG) ou dos campos magnéticos (no magnetoencefalograma – MEG) produzidas pela atividade dos neurônios corticais. A notória desvantagem destes métodos consiste na baixa resolução espacial, pois o fenômeno fisiológico registrado em cada eletrodo corresponde ao somatório da atividade neuronal (volume de condução conseqüente, principalmente, aos potenciais pós-sinápticos dos neurônios piramidais) de uma área relativamente grande, circunscrita ao eletrodo.

A atividade elétrica cerebral é caracterizada por componentes oscilatórios com bandas de frequências distintas que se relacionam com “estados funcionais do cérebro” tais como sono e vigília (RECHTSCHAFFEN, SIEGEL, 2000; LLINÁS, 1993). Não há consenso na literatura a respeito dos limites de frequência entre estas bandas; as definições abaixo foram as selecionadas para a vigente dissertação (TALLON-BAUDRY, 1999; BUSH, 2004):

- Oscilações nas bandas teta (4 a 7 Hz) e delta (< 4 Hz), caracterizadas por ondas de baixa frequência e grande amplitude e, por isso, denominadas pelos neurofisiologistas como “sincronizadas”. Caracterizam os estágios 3 e 4 do sono não-REM, o sono de ondas lentas.
- Oscilações nas bandas alfa (8 a 12 Hz), beta (13 a 29 Hz) e gama (30 a 100 Hz), compostas por ondas de baixa amplitude e alta frequência, por isso conhecidas como “dessincronizadas”, caracterizam os estados de vigília e sono REM (ou sono paradoxal); estados onde se podem observar experiências cognitivas.

Deve-se tomar cuidado com os termos “sincronizados” e “dessincronizados” utilizados acima, pois podem induzir ao erro, posto que, para ser detectado na superfície do escalpe, algum grau de sincronia e integração tempo-espacial da atividade neural deve existir, garantindo magnitude mínima para seu registro (RECHTSCHAFFEN; SIEGEL, 2000; LENT, 2001; TALLON-BAUDRY, 2003).

Em geral, a frequência das oscilações guarda uma correlação negativa com sua amplitude, ou seja, a amplitude das oscilações diminui com o aumento da frequência. Isto se mostra verdadeiro não somente quando são comparadas bandas espectrais

distintas (ex.: alfa, beta e gama), mas também em componentes espectrais dentro de uma específica banda oscilatória (ex.: componente alfa inferior – 10 Hz, e componente alfa superior – 12 Hz). Como a amplitude das oscilações é proporcional ao número de elementos neurais sincronicamente ativos, circuitos neurais lentamente oscilatórios conteriam maior número celular que circuitos rapidamente oscilatórios (PFURTSCHELLER, 1999). Exemplificando com a atividade oscilatória sincronizada na banda gama, sua alta frequência (> 30 Hz) e sua baixa amplitude (poucos microvolts), denunciam circuitos dotados de pequeno número de elementos neurais, quando comparada a atividades oscilatórias de menor frequência e maior amplitude (como a banda alfa). É provável, entretanto, que circuitos neurais sincronizados em maiores frequências possuam repercussão mais consistente nos seus “neurônios-alvo” (figura 9), com efetiva somação tempo-espacial dos potenciais pós-sinápticos, recrutando-os (JENSEN *et al.*, 2007).

Atividade oscilatória na banda alfa pode ser registrada, espontaneamente, no EEG de indivíduos em repouso, principalmente na região occipital. Refletiria a escassez de aferências para o córtex visual primário (fissura calcarina) durante o repouso sensorial, levando à atividade oscilatória de amplitude relativamente elevada indicando moderado grau de sincronização de seus geradores neurais: córtex parieto-occipital modulado pelo tálamo.

O registro desta atividade elétrica, ao sofrer interferência de estímulos externos, superpõe ao traçado EEG “de base” respostas eletrofisiológicas de baixa amplitude que se confundem com ele. A localização da origem destas respostas, dentro do sistema nervoso central, dependerá da modalidade sensorial acionada pelo estímulo e sua complexidade.

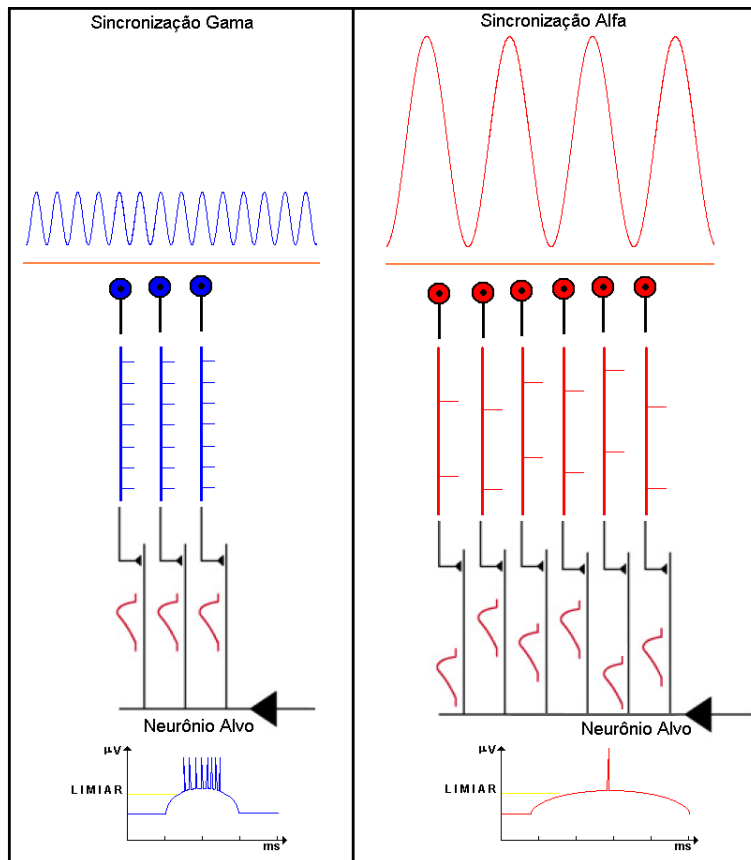


Figura 9: Representação esquemática da relação entre a sincronização de grupos neurais com diferentes números de elementos, e a amplitude e frequência da atividade oscilatória detectada na superfície do escalpe. Quando comparada a oscilações mais lentas, a sincronização gama teria efeito mais consistente sobre os neurônios-alvo, pela efetiva somação tempo-espacial dos potenciais pós-sinápticos excitatórios (Modificado de Jansen *et al.*, 2007).

Aproveitando-se de sua incomparável resolução temporal, não compartilhada por nenhum método de imagem funcional, o sinal eletroencefalográfico tem sido obtido mediante estimulações sensoriais repetitivas simples ou complexas (paradigmas de cunho cognitivo). Tenta-se, dessa forma, registrar e analisar a precisa orquestração eletrofisiológica entre as regiões cerebrais envolvidas nessas tarefas. Entretanto, a metodologia utilizada no processamento do sinal EEG para evidenciar tais respostas dependerá da relação que estas possuem com seus respectivos estímulos em termos de latência e fase.

Distinguem-se dois tipos de respostas oscilatórias a estímulos: o primeiro tipo caracteriza-se por uma forte relação temporal e em fase (“*phase-locked*”) com o estímulo, a *Resposta Oscilatória Evocada*; o segundo tipo de resposta caracteriza-se por

uma relação temporal frouxa e “não *phase-locked*” com o estímulo, a *Resposta Oscilatória Induzida*. Enquanto a primeira pode ser processada através do simples método linear da média coerente entre as realizações, acentuando a razão sinal / ruído e definindo os Potenciais Evocados, a resposta induzida não pode valer-se desta metodologia, pois tende a desaparecer durante a “promediação” devido à variação em sua latência e a incoerência de fase (não *phase-locked*).

Entende-se por Potenciais Evocados as respostas elétricas geradas pelo sistema nervoso sensorial ou motor às estimulações destes respectivos sistemas, extraídas do sinal eletrofisiológico (EEG ou MEG) pelo método da média coerente entre as realizações. No caso da estimulação auditiva, Potenciais Evocados Auditivos (PEA), destacam-se os seguintes tipos, de acordo com as suas latências: a) Curta latência (até 10 ms); b) Média latência (entre 10 e 50 ms); c) Longa latência (> 50 ms). A estimulação visual (seja pelo método “reversão de padrão” ou por iluminação difusa por *flashes*) evoca um pico positivo occipital no intervalo de latência entre 90 e 110 ms, o P₁₀₀ - o Potencial Evocado Visual (PEV) mais relevante clinicamente (MISULIS, 1994). Quanto às repostas de longa latência, também denominadas de Potenciais Endógenos Relacionados a Eventos (ERP), estas têm sido relacionadas a aspectos do processamento cognitivo. As ondas mais relevantes seriam: N₁, P₂, N₂, P₃ (também denominado P300), sendo esta última a mais importante, e evocada por estimulação de qualquer modalidade sensorial. Esta resposta não é afetada significativamente por variações das propriedades físicas do estímulo como intensidade, daí o termo “endógeno” (OKEN, 1997).

O P300 é a terceira inflexão positiva (por isso, designada P3); espacialmente simétrica; de amplitude máxima nas derivações sagitais (linha média) centro-parietais; e surgindo em latências variando de 250 a 600 ms, dependendo de parâmetros individuais e paradigmáticos. Descoberto há mais de 40 anos (SUTTON *et al.*, 1965 *apud* OKEN, 1997), é classicamente obtido utilizando-se paradigmas “*oddball*”, consistindo em estímulos inesperados ou raros aleatoriamente intercalados com estímulos frequentes. O potencial surge em resposta ao estímulo raro, notadamente quando o sujeito é orientado a atender ao estímulo-alvo (p.ex.: raro), realizando alguma tarefa (p.ex.: pressionar um botão), ignorando o estímulo irrelevante (OKEN, 1997).

Os dois fatores do estímulo envolvidos na obtenção do P300 – expectativa (se é raro ou frequente) e relevância (se é, ou não, alvo) – provavelmente operam de forma independente e gerariam distintos componentes desse ERP. O P3a, componente temporalmente mais precoce e com distribuição espacial mais frontal, tem sido

relacionado com a expectativa e novidade do estímulo. Refletiria uma função frontal. O P3b, mais tardio e parietal, relacionar-se-ia com a relevância do estímulo (POLICH, 2004). Presumivelmente, o P300 rotineiramente obtido refletiria a soma desses dois componentes (OKEN, 1997).

A latência do P300 tem sido relacionada com a duração do processamento perceptivo, mas tem se mostrado insensível à duração do processamento motor envolvido nas respostas a paradigmas (DONCHIN, 1981). A amplitude do P300, entretanto, refletiria a intensidade do esforço atencional envolvido na tarefa (KRAMER; STRAYER, 1988 *apud* ILAN; POLICH, 1998). Tem sido demonstrado, também, que a amplitude do P300 diminui com o aumento de sua latência (OKEN, 1997).

Estas respostas individuais (os ERP) são de baixa amplitude (da ordem de microvolts) além de superporem-se à atividade eletroencefalográfica de base (MISULIS, 1994). De fato, pressupunha-se que o sinal evocado ou a atividade relacionada ao estímulo tivesse uma latência temporal relativamente fixa, enquanto que a atividade EEG ou MEG “de base”, não relacionada com o estímulo, se comportasse como ruído. Entretanto, este simples modelo, ainda amplamente usado, é somente uma aproximação da situação real. Segundo Sayers (1974) os ERP poderiam ser considerados como resultado da reorganização de fases do sinal eletroencefalográfico “de base”, e BAŞAR (1994) sugeriu que os ERP poderiam ser entendidos e descritos como a superposição de oscilações evocadas de diferentes domínios de frequência. Além disso, sabe-se que a estimulação visual (disco rotatório) pode reduzir a amplitude do traçado eletroencefalográfico “de base” (VIJN, 1991) e que certos “eventos” podem dessincronizar (reduzir a potência total) a atividade alfa vigente (BERGER, 1933). Contraditoriamente a esta redução da potência alfa, o método da média coerente das realizações estímulo-resposta, que analisa atividade evocada (“*phase-locked*” com o estímulo), revela sincronização (coerência de fases) na banda alfa durante processamento da informação sensorial, definindo o “Paradoxo Alfa”. Estes dados indicam que o modelo que considera os Potenciais Relacionados a Eventos como sinal entranhado em ruído (“oscilações EEG não relacionadas ao evento”) é, no mínimo, incompleto (PFURTSCHELLER; LOPES DA SILVA, 1999) e que os fenômenos de sincronização e dessincronização da atividade oscilatória em determinadas bandas de frequência são componentes importantes das respostas dos sistemas neurais a paradigmas que envolvem funções cognitivas.

3.1. Variações da Potência do Sinal EEG, na Banda Alfa, Relacionadas ao Evento

Berger (1933) observou que ocorria uma significativa redução da amplitude das oscilações na banda alfa quando os indivíduos abriam os olhos: o “efeito Berger” ou “bloqueio alfa” ou “dessincronização”. A atividade alfa “sincronizada” sofre dessincronização, reduzindo a potência alfa total do sinal, em resposta à estimulação e paradigmas visuais e auditivos envolvendo tarefas perceptivas, de julgamento e de memória, ou seja, durante o processamento ativo de informações (Dessincronização Relacionada ao Evento – ERD). O aumento da complexidade da tarefa ou da atenção dispensada aumenta a magnitude da ERD (PFURTSCHELLER, LOPES DA SILVA, 1999; KLIMESCH, 2000).

A dessincronização alfa não seria um fenômeno único. Padrões distintos de dessincronização são observados em diferentes faixas de frequência dentro da banda alfa e teriam significados funcionais distintos, segundo Klimesch *et al.* (1999), que utilizaram um paradigma “oddball” visual, a saber: estímulos visuais alvo ou irrelevante eram apresentados após um sinal de alarme; o indivíduo devia contar os números de estímulos alvo e ignorar os irrelevantes.

- Dessincronização alfa Superior, que ocorre numa banda de frequência 2 Hz acima da Frequência Alfa Individualmente Determinada (IAF) com topografia restrita a regiões parieto-occipitais e refletiria o processamento de informações semânticas que ocorre após a apresentação dos estímulos alvo;
- Dessincronização alfa Inferior- 1, que ocorre na faixa de frequência entre 4 Hz e 2 Hz abaixo da Frequência Alfa Individualmente Determinada (IAF-4 Hz e IAF-2 Hz). Seria obtida em qualquer tipo de tarefa e teria ampla distribuição topográfica no córtex. Surge logo após o sinal de alarme, e foi relacionada com o aumento fásico da vigília, um componente da atenção;
- Dessincronização alfa Inferior- 2, que ocorre na faixa entre IAF-2 Hz e IAF. Surge cerca de 1000 ms antes do início do estímulo e foi relacionada com comportamento expectante (ou expectativa), um dos componentes da atenção (os dois componentes da atenção seriam a vigília e a conduta expectante).

Enquanto estes achados acima descritos foram baseados em metodologia de mensuração da Potência relacionada ao evento de bandas selecionadas (ver metodologia), a metodologia utilizada na obtenção da atividade alfa evocada (média

coerente entre as realizações), “*phase-locked*” com o estímulo, revela resultados, a princípio, conflitantes: aumento da sincronia alfa evocada durante o processamento de informação sensorial. Este fenômeno foi descrito como o “paradoxo alfa”. Observou-se, concomitantemente à redução da potência alfa, recrutamento de fases da atividade alfa, antes aleatoriamente distribuídas, levando a um aumento da atividade alfa evocada “*phase-locked*” (BRANDT, 1997). A redução da potência referente à atividade alfa induzida (“não *phase-locked*”) e o aumento da atividade alfa evocada (“*phase-locked*”) em respostas a paradigmas “oddball” têm sido relacionados com a atenção (HERRMANN, 2001). Mima *et al.* (2001) também demonstraram este fenômeno num paradigma no qual figuras de objetos de uso cotidiano, reconhecíveis, ou figuras distorcidas irreconhecíveis (figura 11) eram apresentadas aos indivíduos (no centro do campo visual) e estes deveriam, assim, classificá-las. Observou-se, na condição de correta identificação da figura reconhecível, aumento significativo da coerência inter-hemisférica, dentro da banda alfa, iniciando em torno de 117-373 ms, principalmente nas regiões posteriores (figura 11). O aumento da coerência inter-hemisférica foi caracterizado por um “*phase lag*” de $2 (\pm 3)$ ms e não foi observado na condição de correta identificação da figura distorcida, sem sentido. Também não foi encontrado em outras bandas de frequência (até 50 Hz). A redução da “potência alfa” iniciava-se em torno de 373-629 ms (figura 11) e foi observada em ambas as situações: figura reconhecível e figura distorcida, apesar de ter sido mais intensa na figura reconhecível.

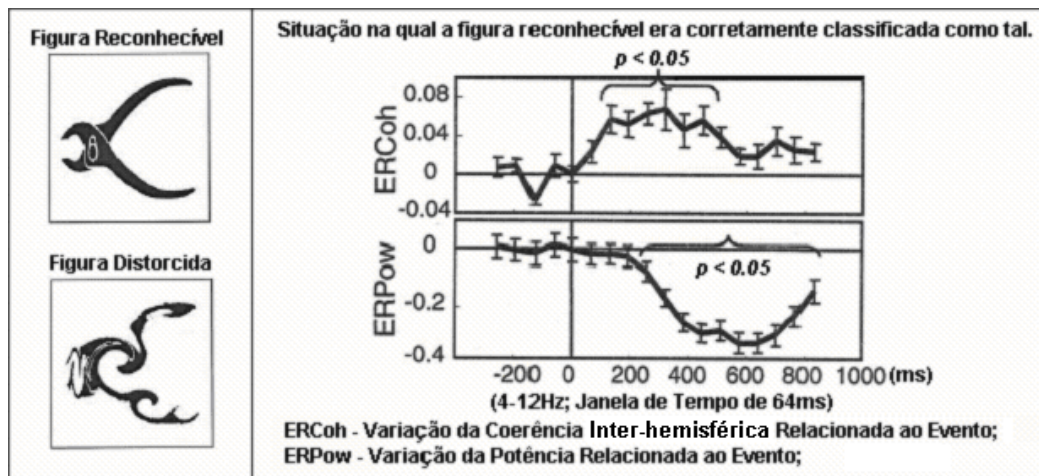


Figura 11: Resposta temporal da coerência inter-hemisférica relacionada ao evento e da potência relacionada ao evento na situação em que o indivíduo identificava corretamente a “figura reconhecível” (modificado de Mima *et al.*, 2001).

Contrastando com os tradicionais ERP, que podem ser considerados como uma série de respostas pós-sinápticas transitórias dos neurônios Piramidais engatilhadas por estímulos específicos, as Dessincronizações e Sincronizações relacionadas ao evento (respectivamente, ERD e ERS) podem ser interpretadas como variações nos parâmetros que controlam a atividade oscilatória das redes neurais, modulando as propriedades intrínsecas às membranas celulares ou a dinâmica sináptica dos elementos neurais dos principais circuitos de retroalimentação: tálamo-cortical e córtico-cortical (PFURTSCHELLER; LOPES DA SILVA, 1999). Em suma, pode-se assumir que ERP representariam respostas dos neurônios corticais a variações da atividade aferente (atividade “evocada”), enquanto ERD e ERS representariam variações da atividade das interações “neurônio-interneurônio” (figura 12) que controlam os componentes espectrais do EEG (atividade “induzida”).

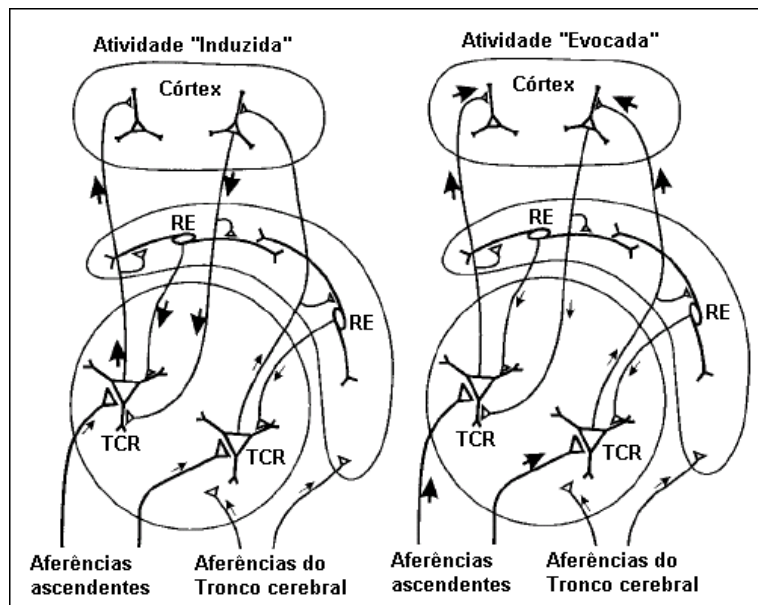


Figura 12: Esquema representativo da geração das respostas evocada e induzida. RE - núcleo reticular do tálamo; TCR - células “relé” talâmicas dos núcleos talâmicos específicos (modificado de Pfurtscheller & Lopes da Silva 1999 *CLINPH*).

3.2. Atividade Oscilatória EEG de Alta Frequência: Banda Gama

Llinás *et al.* (1993) registraram em MEG atividade de 40 Hz (banda gama) espontânea em indivíduos durante a vigília e sono paradoxal. Tal atividade mostrava um desvio de fase (figura 13- A) com distribuição fronto-occipital com duração máxima em

torno de 12,5 ms (metade do período da frequência de 40 Hz) e estava marcadamente reduzida durante o sono de ondas lentas (figura 13- B). Também demonstrou que a atividade oscilatória gama pode ser recrutada por estimulação sensorial (neste caso, auditiva) somente durante a vigília, não encontrando tal “reset” durante o sono REM ou de ondas lentas (figura 7). Os autores consideraram tal achado como a diferença central entre sonho e consciência vígil.

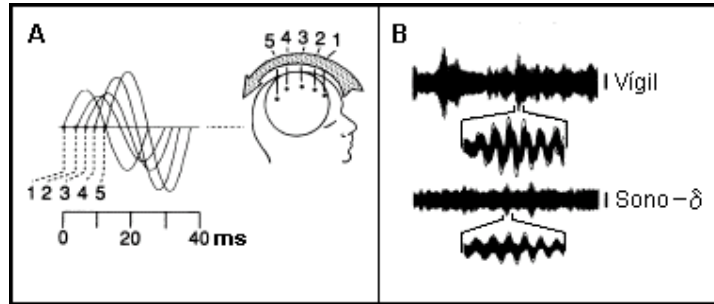


Figura 13: A- Distribuição antero-posterior de fases da atividade gama; B- Redução da atividade gama durante sono de ondas lentas (modificado de Llinás *et al.*, 1993).

Diferentes tipos de atividade oscilatória na banda gama podem ser registrados em resposta à estimulação sensorial ou durante tarefas motoras. Galambos (1992) propôs uma nomenclatura definindo três tipos de resposta gama: *i*) evocada transitória de 40 Hz; *ii*) tipo “*steady-state*” de 40 Hz e *iii*) gama induzida (30 a 80 Hz).

3.2.1. Resposta Oscilatória Evocada Transitória de 40 Hz

É caracterizada por um preciso “*phase-locking*” com a estimulação. Portanto, pode ser detectada pela média coerente das realizações individuais (experimentos), mesmo se a amplitude do sinal for pequena.

Atividade oscilatória evocada e transitória pode ser observada nos 100 ms seguintes a estímulos auditivos, visuais ou somatossensitivos, após filtragem em banda na faixa de frequência gama, em sinais de EEG e MEG.

Tallon-Baudry *et al.* (1996) demonstraram que resposta gama evocada não variava em amplitude ou frequência de acordo com parâmetros cognitivos do estímulo visual (triângulos de Kanizsa: real, ilusório ou inexistente), como “conexão” (os triângulos reais e imaginários seriam os estímulos “conexos”). Este trabalho não considerou a relevância do estímulo, ou seja, se o estímulo era considerado alvo ou

irrelevante. Entretanto, recentemente foi demonstrado (BUSH, 2004) que parâmetros físicos (como tamanho, duração e centralização) do estímulo visual influenciam a resposta gama evocada da seguinte forma: respostas evocadas de maior amplitude são geradas por estímulos de maiores dimensões e apresentados no centro do campo visual, pois ativariam maiores extensões do córtex visual primário. Este achado indicaria influências ascendentes “*bottom-up*” das características físicas do estímulo sobre as oscilações gama evocadas.

A resposta gama evocada desaparece no sono REM e no sono de ondas lentas (LLINÁS, 1993), como já foi dito, e pode ser modulada pelo nível de atenção dispensado ao estímulo, indicando influências descendentes “*top-down*” sobre esta resposta. Herrmann *et al.* (1999, 2001) utilizando, também, figuras de Kanizsa (quatro figuras: quadrados e triângulos, ilusórios e inexistentes), demonstraram que a relevância do estímulo (alvo × irrelevante) influenciou a amplitude da resposta gama evocada, acentuando-a. Mostraram também, similarmente ao que ocorre com o P₃, que, trocando-se o estímulo alvo mas mantendo-se, entretanto, o mesmo conjunto de figuras apresentadas durante os experimentos, o aumento de amplitude da atividade gama evocada seguia o estímulo relevante (HERRMANN *et al.*, 1999; 2001). E a atividade oscilatória era maior (amplitude) quanto mais a figura-estímulo assemelhava-se à figura-alvo em relação à forma e colinearidade (figura 14).

No caso da resposta evocada auditiva de 40 Hz, o gerador neural tem sido localizado no córtex auditivo primário (PANTEV *et al.*, 1991). De forma similar, estimulação somatossensitiva gerou, 20 ms após seu início, resposta em altíssima frequência (600 Hz) cujo sítio gerador foi localizado no córtex somatossensitivo primário (CURIO *et al.*, 1997).

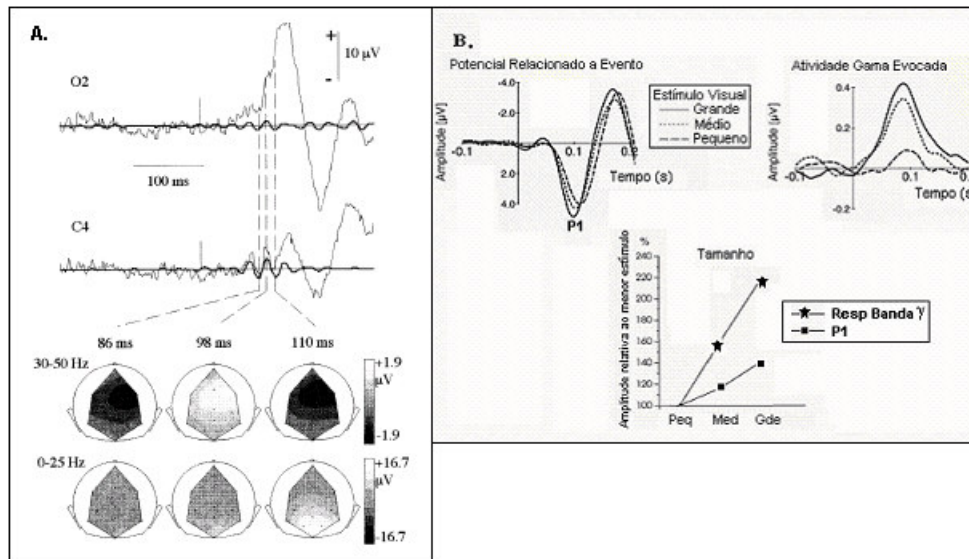


Figura 15: A- Relação temporal (sup) e topográfica (inf) entre os componentes evocados de alta (40Hz) e baixa (P1 ou P₁₀₀) frequências; B- Influência das características físicas do estímulo nas respostas evocadas de alta e baixa frequência (modificado de Tallon-Baudry, 1996 e Bush, 2004).

Bush (2004) também demonstrou outro dado interessante. A latência dos Potenciais Relacionados a Evento (ERP-P₁₀₀) co-variava com a excentricidade do estímulo nos registros ipsilaterais à sua apresentação: estímulos visuais apresentados em regiões mais periféricas do campo visual evocavam, ipsilateralmente à estimulação, ERP-P₁₀₀ com latências maiores. Tal latência aumentada poderia resultar da transferência inter-hemisférica, pelo corpo caloso, da informação gerada no campo visual periférico (estímulos no campo visual central não necessitariam de tal transferência inter-hemisférica). Esta co-variação latência-excentricidade não foi demonstrada na atividade gama evocada. Baseado em dados concordantes de outros trabalhos, especulou-se que atividades oscilatórias com bandas de frequências diferentes trafegariam em fibras calosas com velocidades de condução distintas.

Apesar do papel funcional da resposta gama evocada ainda ser incerto, alguns grupos têm sugerido sua participação em processos relativos à atenção (SHEER, 1989; TIITINEN *et al.*, 1993), ao estado de “cognição vígil” (LLINÁS; RIBARY, 1993) e com a integração temporal de eventos sensoriais sucessivos (JOLIOT *et al.*, 1994). Herrman *et al.* (2001) especularam que, para haver diferenciação dos estímulos-alvo dos estímulos irrelevantes, ambas as características destes estímulos, a saber: forma e colinearidade-conexão (para melhor compreensão, rever a Figura 4), devem ser comparadas com o

modelo do alvo existente na “memória de trabalho”. Os autores sugeriram como gerador da atividade oscilatória gama evocada, o processo de comparação dos estímulos percebidos com a memória de trabalho: quanto mais características em comum o estímulo percebido compartilha com o modelo do alvo, maior a atividade gama evocada.

3.2.2. Resposta oscilatória de 40 Hz tipo “Regime Permanente” (*steady-state*)

Trata-se, também, de uma resposta senoidal evocada na frequência de um estímulo periodicamente modulado ou em seus harmônicos. Obtida nas modalidades auditiva, visual e somatossensitiva, tem sido interpretada como a frequência ressonante natural do cérebro (REGAN, 1986) ou como a superposição dos componentes iniciais (“*early*”) das respostas evocadas de média latência (GALAMBOS, 1981).

Na modalidade auditiva, a resposta “em regime permanente” (*steady-state*) mostra máxima amplitude na banda gama. Não desenvolve habituação e sua magnitude pode ser significativamente reduzida pela anestesia geral. Como a resposta “em regime permanente” auditiva alcança amplitude máxima com frequências de estimulação próximas a 40 Hz, havia certa concordância na literatura de que resultava da superposição dos componentes iniciais das respostas de média latência relacionadas a evento (N_a , P_a , N_b , P_b): a chamada Teoria da Superposição. De fato, as respostas de média latência, no domínio da frequência, assemelham-se a um ou mais ciclos senoidais de 40 Hz. Concordante, também, com a hipótese da superposição estaria o fato de frequências de estimulações em torno de 25 Hz e 55 Hz gerarem respostas mínimas de amplitude (figura 16), pois, próximas a estas frequências, as oscilações de 40 Hz surgiriam “fora de fase” cancelando-se no processo de “promediação” (GALAMBOS, 1981). Além disso, ambas as respostas, “em regime permanente” e média latência foram localizadas no córtex auditivo primário.

Pantev (1996) questionou a Teoria da Superposição baseando-se nos dados magnetoencefalográficos referentes à organização tonotópica das respostas de média latência e “em regime permanente” evocadas por frequências carreadoras do estímulo entre 250 e 4000 Hz:

- Os geradores neurais dos componentes P_{am} (m, pois se refere a campo magnético) evocados por pulsos tonais estavam centrados próximos à superfície do giro

supratemporal. Estes geradores deslocavam-se lateralmente com o aumento logarítmico da frequência do estímulo – “tendência tonotópica lateral”;

- Os geradores neurais do componente N_{1m} (campos evocados de longa latência) localizavam-se póstero-inferiormente aos do P_{am} e deslocavam-se medialmente com o aumento logarítmico da frequência carreadora do estímulo – “tendência tonotópica medial”;

- Os geradores das repostas “em regime permanente” revelaram uma tendência tonotópica medial, semelhante ao componente N_{1m} , localização oposta a do componente P_{am} ;

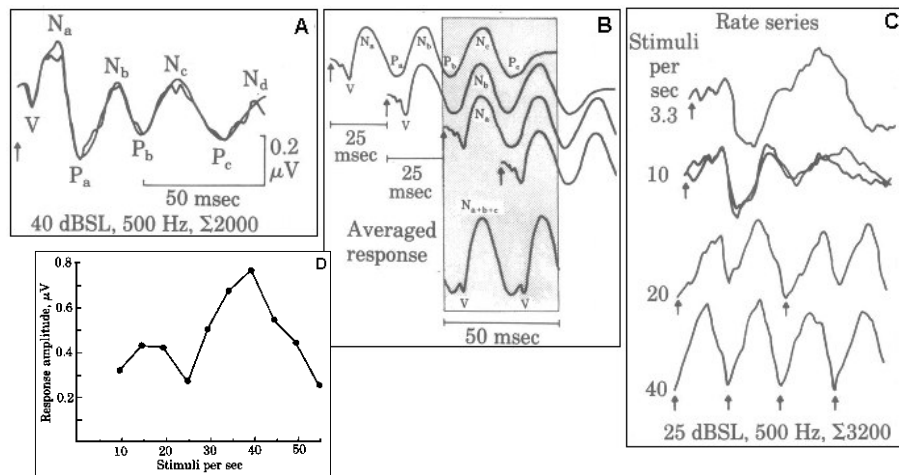


Figura 16: A- Potencias auditivas de média latência durante os 100 ms seguintes ao estímulo, que neste caso tinha frequência de 10 Hz. B- Representação de como seria feita a média coerente das respostas de média latência caso a estimulação fosse em 40 Hz. C- Registro das respostas evocadas “steady-state 40 Hz” por estímulos em diferentes frequências. Note a amplitude máxima na estimulação em 40 Hz. D- Resposta da amplitude em diferentes frequências: máxima em 40 Hz e mínima em torno de 25 Hz e 55 Hz, como previsto (modificado de Galambos, 1981).

Em contraste com a resposta “em regime permanente” auditiva, a homônima resposta visual pode ser gerada por frequências variadas de estimulação, sugerindo que estas respostas nestas duas modalidades sensoriais seriam geradas por mecanismos distintos (MULLER, 1997). As localizações dos dipolos equivalentes das repostas “em regime permanente” visuais variam sistematicamente em função da frequência. Este fato poderia ser interpretado como sinais ou respostas trafegando em diferentes vias visuais.

A amplitude dos potenciais evocados visuais “em regime permanente” (PEVSS) de “alta frequência” (20,8 Hz e 27,8 Hz) é modulada pela atenção espacial seletiva, sendo que o foco de atividade cortical foi registrado no escalpe posterior contralateral ao lado da estimulação, sugerindo geradores extra-estriados (figura 7).

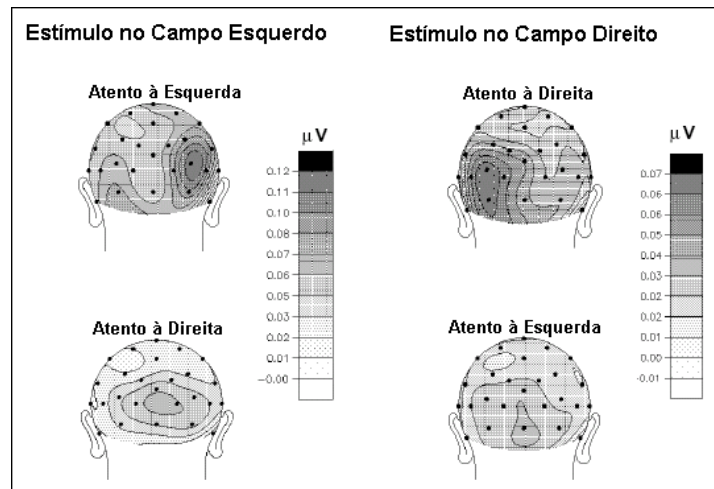


Figura 17: Distribuição no escalpe das amplitudes “promediadas” dos PEVSS a estimulação nos campos visuais direito e esquerdo. (modificado de Muller 1997).

A atividade cortical “em regime permanente” tem sido usada para traçar as características temporais dos processos referentes à atenção.

3.2.3. Resposta oscilatória gama induzida (30 a 80 Hz)

Refere-se a surtos (respostas) oscilatórios cujas latências variam de realização a realização, ou seja, possuem um fraco vínculo temporal com o início do estímulo (BROSCH, 2002), ocorrendo entre 200 e 400 ms após este. Tais respostas não podem ser reveladas por técnicas clássicas de média coerente, pois são “não *phase-locked*” e, portanto, dependem da aplicação de métodos que transformam os sinais individuais (potenciais elétricos ou campos magnéticos) em espectros de potência antes de serem “promediados” (TALLON-BAUDRY, 2003). Diversas técnicas com diferentes resoluções de tempo e frequência já foram aplicadas com sucesso: filtragem passa-banda com retificação do sinal (PFURTSCHELLER, 1992); Transformada de Fourier de curta duração (MULLER, 1996); decomposição tempo-frequência das realizações individuais [figura 18] (TALLON-BAUDRY *et al.*, 1996).

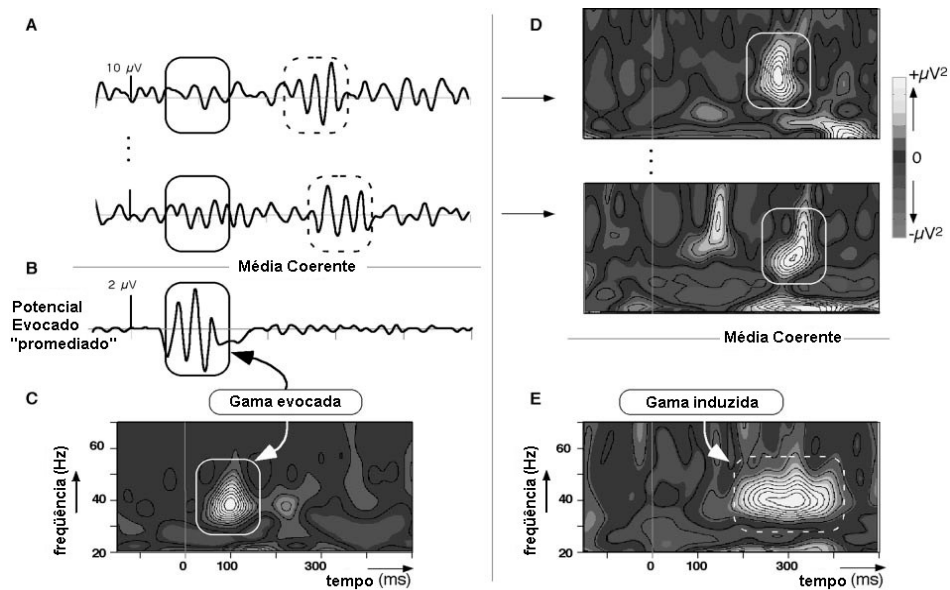


Figura 18: Método de representação em mapas tempo-freqüência de potência: as realizações individuais (A) são representadas em potência tempo-freqüência (D), somente então são submetidas à média coerente (E) revelando a resposta gama induzida. Se fossem “promediadas” diretamente no domínio do tempo (B), a resposta gama induzida, “não *phase-locked*”, seria cancelada, permanecendo somente a resposta gama evocada, representada em (C) como potência tempo-freqüência (modificado de Tallon-Baudry, 1996).

Diversos estudos têm demonstrado que a atividade gama induzida pode ser recrutada ou acentuada em resposta a vários tipos de tarefas sensoriais, particularmente quando o objeto-estímulo é considerado “coerente” (reconhecível ou com significado) – influências ascendentes “*bottom-up*” (TALLON-BAUDRY, 1996, 2003). Além disso, tal atividade induzida também se mostra presente quando o indivíduo ativa ou evoca a representação interna do objeto-estímulo – influências descendentes “*top-down*” (TALLON-BAUDRY, 1997). Isto sugere que oscilações induzidas de alta freqüência relacionam-se com a ativação de representações neurais do objeto na mente. A topografia destas respostas não parece representar ativação inespecífica das regiões corticais, mostrando, em alguns tipos de tarefas (ex: motoras), certa organização somatotópica de suas repostas, ou seja, a topografia da resposta gama induzida é tarefa-dependente. Isto sugere que, dependendo do tipo de tarefa realizada, diferentes áreas funcionais são dinamicamente e flexivelmente integradas pela atividade oscilatória sincrônica que poderia ser considerada como um mecanismo capaz de integrar propriedades sensoriais e cognitivas do objeto, transformando-o numa entidade

experimentada (percebida conscientemente) pelo indivíduo (TALLON-BAUDRY, 2003). Dessa forma, a atividade gama induzida tem sido interpretada, em termos gerais, como o “substrato neural de processos cognitivos”.

3.3. Quanto ao Teste de Stroop

O amplo espectro comportamental humano poderia ser sinteticamente definido como respostas a estímulos externos (ambientais) ou internos (necessidades). James McKeen Cattel em 1886 na sua tese de Doutorado, demonstrou que o processamento cognitivo em determinadas situações desenvolvia-se de forma mais “automática” que em outras circunstâncias que demandavam mais atenção. Verificou que a latência temporal para responder à tarefa de nomear figuras de objetos ou matizes de cores era maior que o tempo necessário para a tarefa de ler seus respectivos nomes. Ao primeiro padrão de resposta chamou de “esforço voluntário” ou “processo controlado”; e ao segundo chamou de “processo automático” (MAC LEOD, 1991).

Em determinadas circunstâncias, a oposição de forças relativas à atenção, seja direcionada por características do estímulo (controle exógeno) ou pela vontade do indivíduo (controle endógeno), associada à questão do quão automático desenvolve-se o processamento cognitivo, resulta em situações de conflito ou interferência entre os componentes informativos do estímulo (ex.: componentes verbais e não-verbais), influenciando o padrão de resposta. Tal conflito (ou interferência) é facilmente documentado nas diversas variedades do Teste de Interferência entre Nome-Cor, originalmente elaborado por John Ridley Stroop em 1935, o primeiro a associar ambos componentes informativos (COR e NOME) em paradigma único.

No teste original, eram expostas, ao voluntário, seqüências de cem palavras relativas a nomes de cores: no *experimento I*, a primeira seqüência de palavras era grafada em preto; na segunda seqüência, cada palavra era tingida por matiz diferente da representada pelo respectivo nome (figura 19). Pedia-se ao voluntário para ler rapidamente os nomes das cores de cada seqüência, e o tempo necessário para tal era mensurado (*tempo 1* para a seqüência 1 e *tempo 2* para a seqüência 2). Ao voluntário, em seguida (*experimento II*), eram apresentadas mais duas seqüências de estímulos: lista de séries de grafoelementos coloridos que não definiam palavras; e lista de nomes de cores tingidas por matizes destoantes dos respectivos nomes. Desta vez, os voluntários deveriam dizer as cores das palavras, independentemente dos respectivos nomes, e o

tempo também era registrado (*tempo 3* para a seqüência 3 e *tempo 4* para a 4ª seqüência).

<i>Experimento I</i>		<i>Experimento II</i>	
<i>Seqüência 1</i>	<i>Seqüência 2</i>	<i>Seqüência 3</i>	<i>Seqüência 4</i>
Vermelho	Azul	xxxxx	Azul
Marrom	Marrom	hhhhh	Marrom
Verde	Rosa	nnnnn	Rosa
Azul	Verde	sssss	Verde
...
Rosa	Vermelho	jjjjj	Vermelho
Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo 4

Figura 19: Representação dos experimentos realizados no teste original elaborado por Stroop. No experimento I, os voluntários deveriam ler as cem palavras (nomes de cores) de cada seqüência. No segundo experimento, a tarefa consistia em dizer as matizes dos estímulos, independentemente se eram ou não, palavras e dos respectivos nomes. Os tempos de cada seqüência eram registrados.

Os principais resultados de Stroop auxiliaram na compreensão do acontecimento da interferência e influenciaram o seu estudo desde então: não havia significativa diferença entre os tempos 1 e 2, ou seja, as matizes dos estímulos não interferiam na leitura dos nomes das cores, como já tinha sido previsto pelo autor. No experimento II, o tempo 4 foi significativamente superior ao tempo 3, sugerindo interferência do componente verbal do estímulo (os nomes das palavras) na nomeação das matizes e, conseqüentemente, nas latências das respostas. Portanto, a diferença entre as latências de respostas do *tempo 4* em relação ao *tempo 3*, deu-se o nome de “fenômeno de interferência” ou “efeito Stroop”. A assimetria da interferência encontrada neste paradigma – a palavra interfere na nomeação da cor, mas o matiz não interfere na leitura da palavra – sugere que a leitura é mais “automática” que nomear cores. Quando ocorre a interferência, o processo de resposta mais “automático” é suprimido em favor da resposta “controlada” estabelecida pelo paradigma (MACLEOD; MACDONALD, 2000).

Por isso, Melara e Algom (2003) consideraram a tarefa de Stroop como “o protótipo do processo atencional cotidiano”. Essa tarefa e as suas variações têm sido umas

das mais utilizadas no estudo do “sistema atencivo executivo”. Este sistema seria evocado quando surgisse a necessidade de mecanismos supervisores para a resolução de conflitos cognitivos (POSNER; PETERSEN, 1990). Tipos de situações ou comportamentos sujeitos a falhas nos processos automáticos (ou rotineiros), requerendo tais mecanismos supervisores, incluiriam: 1- situações envolvendo planejamento ou tomada de decisão; 2- situações envolvendo correção de erros; 3- situações onde a resposta é novidade e não “bem-aprendida”; 4- situações julgadas como difíceis ou perigosas; 5- situações que requerem supressão de respostas habituais, como no paradigma de Stroop (NORMAN;SHALLICE, 1986; SHALLICE, 1994 *apud* BADGAIYAN;POSNER, 1998).

O modelo de atenção envolvida no efeito Stroop desenvolvido por Cohen *et al.* (1990), considera princípios de processamentos paralelamente distribuídos. Neste modelo, tanto a velocidade do processamento quanto o efeito de interferência, relacionam-se com uma variável subjacente em comum, denominada: *força do processamento*. Um processo específico ocorreria através de uma seqüência de módulos interconectados, formando uma via (*pathway*). O desempenho em uma determinada tarefa dependeria da fluência de sua respectiva via de processamento, permitindo que um específico padrão de ativação nos módulos sensoriais relevantes, proporcione um padrão apropriado de ativação nos módulos relevantes de resposta (*output*). A velocidade e precisão com que a tarefa é desempenhada dependem de como a informação flui através dos módulos da via. A *força* de uma via refere-se ao grau de conectividade entre seus módulos. Tal modelo proporciona mecanismo para três atributos do “automatismo”: 1- a *força* varia continuamente em função da prática (se contrapondo ao comportamento “tudo ou nada” do automatismo nos modelos anteriores); 2- a *força* relativa entre dois processos competitivos determina o padrão do efeito de interferência observado; 3- a *força* de um processo determina a extensão com que ele é governado pela atenção. O modelo consiste em duas vias paralelas de processamento, a saber: uma para o processamento da informação referente à cor; e outra para o processamento da informação relativa à palavra, ambas convergindo para um mecanismo comum de resposta (figura 20).

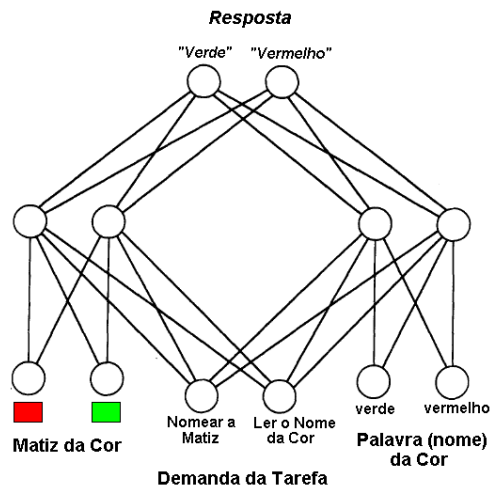


Figura 20: Arquitetura do modelo das duas vias paralelas de processamento. Os módulos localizados inferiormente são unidades sensoriais (*input*), e os módulos superiores (*output*) são unidades de resposta (modificado de Cohen *et al.*, 1990).

As versões atuais deste paradigma vêm se beneficiando da tecnologia do computador, capaz de exibir seqüências de estímulos apresentados individualmente. Permitem maior precisão na aferição de itens específicos e maior controle sobre a forma de apresentação como a exibição aleatória, além de individual, dos estímulos. Ao contrário do teste original, as versões modernas também incluem estímulos onde a matiz coincide com a palavra – estímulos coincidentes – (**AZUL**, por exemplo), além dos estímulos não-coincidentes (**VERMELHO**, p.ex) e estímulos verbalmente neutros (**XXXX**, p.ex) (DALRYMPLE-ALFORD, 1966; MACLEOD, 2000). Isso permitiu a identificação de outro fenômeno relacionado à interação entre componentes do estímulo, a facilitação, que consiste em menor latência temporal nas respostas aos estímulos coincidentes quando comparadas aos estímulos neutros. Embora tenha sido documentado em vários estudos, o fenômeno da facilitação é de magnitude muito inferior ao fenômeno de interferência (MACLEOD, 1991).

Outra variação ao teste envolve a modalidade de resposta que, originalmente, era verbal-vocal. Motivados pela questão se o fenômeno de interferência diferia em distintos tipos de resposta, vários artigos utilizando respostas manuais (pressionar teclas) ao paradigma de Stroop foram elaborados, sendo estes encabeçados por White (1969), o primeiro a comparar respostas verbais com não-verbais. A metodologia da versão manual geralmente envolve a exposição de estímulos coincidentes, neutros e não-coincidentes referentes a quatro cores. Os voluntários devem responder

pressionando uma dentre quatro teclas que representam cada uma das quatro matizes. Em regra, são treinados a pressionar as duas teclas de cada lado (direita ou esquerda) com os dedos indicador e médio dos respectivos lados, o mais rápido e preciso possível. Várias sessões de treinamento são necessárias até que se alcance a rapidez e precisão suficientes para a tarefa (POLICH, 1999).

Na maioria dos estudos, o fenômeno de interferência também se mostrou consistente na modalidade de resposta manual, mas com magnitude significativamente inferior ao encontrado na modalidade verbal. O fenômeno de facilitação, entretanto, parece sofrer incremento de sua magnitude com a modalidade manual de resposta (REDDING, 1977), mas tal padrão ainda é questionado e está para ser confirmado.

Fenômenos de interferência de magnitudes distintas entre diferentes modalidades de resposta têm sido atribuídos ao conceito da Compatibilidade Estímulo-Resposta, introduzido na literatura científica por Paul Fitts (1953 e 1954): *“devemos ser muito cautelosos ao falarmos sobre um ‘melhor tipo de algoritmo de exposição’ ou sobre um ‘melhor tipo de programa de respostas’; seria mais adequado dizer que um específico conjunto de codificação estímulo-resposta é melhor ou pior que outros”*, ou seja, o desempenho efetivo numa determinada tarefa ou teste não dependeria de aspectos específicos dos estímulos ou respostas, mas de propriedades que resultam do acoplamento entre ambos.

Portanto, uma maior magnitude do fenômeno de interferência na modalidade vocal de resposta do paradigma de Stroop, em relação à resposta manual, poderia refletir a natureza da translação estímulo-resposta. O acoplamento entre o aspecto do estímulo a ser ignorado e a resposta associada pode ser considerado mais natural quando respostas vocais, em vez de manuais, são usadas: ler a palavra em voz alta é forma mais convencional e natural de expressar esta informação que pressionar um determinado botão em resposta à sua identificação. Atributos “incompatíveis” do estímulo criariam mais interferência e maior efeito Stroop quando a translação estímulo-resposta envolve modalidades mais naturais de resposta (“bem-aprendidas”) (POLICH, 1999).

A origem do fenômeno de interferência que ocorre no paradigma de Stroop, tem sido avaliada eletrofisiologicamente mediante o registro do P₃₀₀, um potencial evocado relacionado a evento (ERP) sensível às etapas perceptivas da tarefa (DONCHIN, 1981; FORD, 1984). O primeiro estudo utilizando ERP na análise do efeito Stroop (WARREN; MARSH, 1979) concluiu que o padrão encontrado nos ERP sugeria que o fenômeno de interferência se originava no estágio processual de seleção das respostas. Tal estudo

observou que a congruência dos componentes informativos do estímulo (se era “coincidente” ou “não-coincidente”) interferia com a latência dos “potenciais pré-resposta”, e não com a latência dos “potenciais evocados pelo estímulo”.

Estudos interessados especificamente no comportamento do P₃₀₀, verificaram que a latência deste ERP durante o teste de Stroop independe da compatibilidade estímulo-resposta. Apesar do tempo de reação ter sido maior nos estímulos “não-coincidentes” (efeito Stroop ou interferência), não se notou diferença nas latências do P₃₀₀ entre os estímulos “coincidentes” e “não-coincidentes”, corroborando a estreita relação deste ERP com aspectos perceptivos da tarefa e não com as etapas de elaboração e execução da resposta (DUNCAN-JOHNSON; KOPELL, 1981; ILAN; POLICH, 1999).

Outro ERP, um potencial negativo com pico em torno de 400ms (N₄₀₀-like), ocorrendo no mesmo intervalo de tempo que o tradicional N₄₀₀², também tem sido evidenciado em estudos eletrofisiológicos usando variações do teste de Stroop. Rebai *et al.* (1997) foram os primeiros a identificarem tal potencial no contexto de uma versão modificada do teste de Stroop, interpretando-o como o próprio “N₄₀₀”. Esse estudo registrou o N₄₀₀ somente após estímulos não-coincidentes, na topografia do eletrodo CZ, e quando a forma de resposta ao estímulo era do tipo “nomeação mental silenciosa” das cores. Não foram encontradas diferenças entre os ERP referentes aos estímulos coincidentes e não-coincidentes quando o tipo de resposta utilizada era nomeação ou leitura vocalizada.

Liotti *et al.* (2000) registraram o correlato eletrofisiológico (64 canais de EEG) do fenômeno de interferência em oito indivíduos, considerando três modalidades de respostas, a saber: respostas verbais sonoras; respostas verbais silenciosas; e respostas manuais. A diferença dos ERP (não-coincidente – coincidente) revelou dois efeitos relacionados ao paradigma. O primeiro efeito consistiu numa negatividade médio-dorsal entre 350 e 500 ms, com pico em 410 ms. Sua distribuição no escalpe pareceu depender da modalidade de resposta, ou seja: na resposta verbalizada pareceu ter disposição mais focal, medial e anterior; já na manual, teria distribuição mais difusa, principalmente médio-dorsal, de modo que a análise das fontes dos dipolos (software BESA – *brain-*

² O potencial N₄₀₀ consiste numa onda negativa com pico em torno de 400ms após leitura de palavra semanticamente incongruente com a frase (ex.: “eu cortei o pão com a **bola**”), sendo mais consistente na região parietal direita. Especula-se que possa representar um sinal cognitivo do re-processamento de informações semanticamente anômalas (Kutas, 1980 e 1984).

electrical source analysis) sugeriu dois geradores independentes no córtex do cíngulo anterior. O segundo efeito consistiu numa positividade prolongada entre 500 e 800 ms pós-estímulo, no escalpe parieto-temporal superior esquerdo, nas três modalidades de resposta. O resultado desse estudo (gerador localizado no córtex do cíngulo anterior) coincide com o encontrado no primeiro estudo (PARDO *et al.*, 1990) avaliando atividade cerebral durante teste de Stroop, usando tomografia por emissão de pósitrons (PET). Dentre outras respostas, Pardo *et al.* registraram os efeitos mais robustos no córtex do cíngulo anterior.

Também com o objetivo de estudar a interação entre as regiões cerebrais envolvidas no sistema de controle executivo durante o fenômeno de interferência, Markela-Lerenc *et al.* (2004) registraram os padrões espaços-temporais dos ERP (64 canais de EEG), com análise de fontes de dipolos (software BESA), de dezesseis voluntários durante teste de Stroop com respostas manuais. Estavam interessados, principalmente, na interação dinâmica entre as regiões cerebrais do córtex pré-frontal (CPF) e do córtex do cíngulo anterior (CCA). Os resultados dos ERP foram semelhantes aos obtidos por Liotti *et al.* (2000). A diferença dos ERP (não-coincidente – coincidente) revelou negatividade entre 350 e 450 ms pós-estímulo, sobre as regiões fronto-centrais à esquerda. A análise de fontes de dipolos deste primeiro efeito indicou um gerador responsável, localizado no CPF. Imediatamente após esse primeiro efeito, foi registrada positividade na região fronto-central mediana (linha média) entre 450 e 550 ms pós-estímulo. O gerador estimado deste efeito foi localizado no CCA. E, por fim, foi observada positividade (da diferença não-coincidente – coincidente) entre 600 e 1000 ms sobre as regiões parietais do escalpe; esse efeito não foi modelado.

A diferença central entre os estudos de Liotti *et al.* (2000) e Markela-Lerenc *et al.* (2004) consistiu no fato do primeiro ter inserido somente um dipolo no CCA (que explicava cerca de 85% da variação dos seus dados referentes a respostas manuais), não modelando outros dipolos na janela temporal entre 350 e 500 ms. O estudo mais recente modelou dois dipolos neste intervalo (explicando cerca de 93% da variação dos seus dados): o dipolo localizado no CPF antecedendo o dipolo localizado no CCA em cerca de 70 ms. Os autores concluíram que, possivelmente, o CPF avaliaria a necessidade de controle executivo durante determinada tarefa, acionando, imediatamente após, o CCA, que implementaria tal controle. Salientaram, também, a semelhança com resultados de um estudo (CARTER *et al.*, 2000) que, usando imagem por

ressonância magnética funcional (IRMf), monitorizou o desempenho de doze voluntários submetidos ao teste de Stroop sob duas condições, a saber: condição de alta expectativa para o estímulo “coincidente”, onde 80% dos estímulos eram desse tipo; e condição de alta expectativa para o estímulo “não-coincidente”, manipulando, dessa forma, estratégias que influenciam a intensidade da interferência (ou conflito) entre os componentes dos estímulos. A atividade no CCA aumentava significativamente na condição de alta expectativa para estímulos “coincidentes”, situação que acentuaria o conflito. Não foi evidenciada modulação do CCA na condição de baixo conflito, ou seja, na situação de alta expectativa para estímulos “não-coincidentes”. Outra região consistentemente ativada foi o córtex frontal inferior bilateral (CFI, área de Brodmann 44/45). Esse foi o dado que se assemelhava com o resultado do estudo de Markela-Lerenc *et al.* (2004), pois tal ativação do CFI era registrada um *scan* antes (*scan* 2) da ativação do CCA (*scan* 3. Cada *scan* tinha duração de 2,5 s), sugerindo que o CFI seja envolvido concorde às demandas seletivas da tarefa (CARTER *et al.*, 2000). Deve-se salientar, entretanto, a limitada resolução temporal dos métodos de imagem, além da adaptação metodológica adotada para viabilizá-los na monitorização do paradigma de Stroop, método em blocos (blocos de estímulos coincidentes e não-coincidentes). Com esta modificada metodologia, os voluntários poderiam adotar estratégias fugindo do objetivo do paradigma (MACLEOD; MACDONALD, 2000).

Apesar das limitações metodológicas, valendo-se de sua soberana resolução espacial, os métodos de neuroimagem funcional têm sido utilizados no estudo do efeito Stroop. De fato, a maioria desses estudos aponta o córtex do cíngulo anterior (CCA) como a estrutura cerebral com máxima atividade diferencial na comparação entre as condições (blocos) não-coincidentes e coincidentes. Entretanto, outras estruturas cerebrais também mostram atividade diferencial, como: córtex pré-frontal, córtex frontal polar, giro temporal inferior, e lobos parietais inferior e superior (MACLEOD; MACDONALD, 2000; MARKELA-LERENC *et al.*, 2004).

3.4. Processamento dos Sinais Referentes às Realizações – a Média Coerente das Épocas do Sinal no Domínio do Tempo

Os potenciais evocados são definidos, geralmente no domínio do tempo, como atividades elétricas provocadas pela estimulação. O problema fundamental da análise dos ERP consiste em como detectá-los em meio à atividade elétrica cerebral de fundo,

considerada como não relacionada à estimulação e, geralmente, de magnitude bem superior à dos ERP. Esse modelo que considera o ERP como sinal gerado por populações neurais ativadas com estrito vínculo temporal e de fase com o estímulo (“*phase-locked*”), entranhado em ruído, ou seja, em meio à atividade eletroencefalográfica não relacionada à estimulação, tem sido questionado (SAYERS *et al.*, 1974), mas persiste como o modelo mais amplamente aceito.

A escolha do domínio analítico dos ERP (seja no domínio do tempo ou domínio da frequência) é determinada por considerações práticas, posto que as informações obtidas refletem a mesma realidade. Será aqui considerada sua avaliação no domínio do tempo (DA SILVA F. L., 2005).

A análise dos ERP baseia-se em duas suposições: a) o estrito vínculo temporal e de fase com o estímulo (da atividade elétrica evocada); b) a atividade elétrica de fundo poderia ser considerada ruído estacionário. O ERP é considerado, no modelo, um sinal $[s(k)]$ corrompido pelo ruído aditivo $[n(k)]$, a atividade de fundo, sendo k uma variável temporal discreta. Assim, a obtenção do ERP se torna uma questão de acentuação da razão sinal-ruído. No modelo aditivo simples, o sinal estocástico $x(k)$ é tido como a soma de dois termos (as variáveis aleatórias estão indicadas por símbolos sublinhados):

$$\underline{x}(k) = s(k) + \underline{n}(k) \quad (\text{expressão 1})$$

Sendo zero o valor esperado de $n(k)$, a média de $x(k)$, considerando N realizações, será:

$$\underline{x}(k) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \underline{x}_i(k) \quad (\text{expressão 2})$$

e o valor esperado da média será:

$$E\left[\underline{\bar{x}}(k)\right] = E\left[\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \underline{\bar{x}}_i(k)\right] = s(k) \quad (\text{expressão 3})$$

No modelo, $s(k)$ é função temporal determinística, portanto, a variância da média $x(k)$ será:

$$\text{var}[\underline{\bar{x}}(k)] = E\left[\left(\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \underline{n}_i(k)\right)^2\right] = \frac{1}{N} \cdot \text{var}[\underline{n}(k)] \quad (\text{expressão 4})$$

Portanto, a razão sinal-ruído acentua-se, em amplitude, proporcionalmente a \sqrt{N} .

Mais verossímil seria considerar a função $s(k)$, também, como sinal estocástico. Portanto, o ERP não seria plenamente definido só pelo valor médio de $x(k)$, mas também pelos seus momentos estatísticos mais elevados, como a variância (momento de segunda ordem). O modelo aditivo estocástico (expressão 5) representaria melhor a realidade. O modelo anterior (expressão 1) seria válido somente para preparações em anestesiados ou para potenciais evocados de curta latência.

$$\underline{x}(k) = \underline{s}(k) + \underline{n}(k) \quad (\text{expressão 5})$$

Para uma análise minuciosa dos potenciais evocados, poder-se-ia considerá-los variáveis estocásticas multidimensionais, ou seja, grandezas vetoriais.

$$E(\underline{\tilde{n}}) = 0; \quad E(\underline{\tilde{x}}) = E(\underline{\tilde{s}}) \quad (\text{expressão 6})$$

O momento de segunda ordem será representado pela matriz de covariância. Exemplificando com duas amostras k e l , sua matriz de covariância será:

$$Cov_{kl} = E[(\underline{x}(k) - E(\underline{x}(k))) \cdot (\underline{x}(l) - E(\underline{x}(l)))] \quad (\text{expressão 7})$$

O método dos componentes principais representa o ERP como uma combinação linear de funções base. Se forem escolhidas como funções base os autovetores das matrizes de covariância, a expressão 8 forneceria a melhor aproximação p -dimensional (definição dos mínimos quadrados) ao ERP.

$$\underline{\tilde{x}} = E(\underline{\tilde{x}}) + \sum_{i=1}^p \underline{\lambda}_i \cdot \overrightarrow{\psi}_i, \text{ sendo } p < \text{número de épocas} \quad (\text{expressão 8})$$

Os coeficientes λ_i são variáveis aleatórias independentes, e os autovetores (ψ_i) são ortogonais. Deve-se salientar, entretanto, que essa decomposição (transformação do sinal) não descreve, necessariamente, os geradores eletrofisiológicos do ERP, e consiste apenas num modelo estatístico sucinto capaz de descrevê-lo além do valor de sua média. Nessa análise, o primeiro componente é o que esclarece a maior variância. Não é, geralmente, necessário ir além de $i = 4$ ou 5 . Assim, uma descrição parcimoniosa do EP pode ser conseguida.

Entretanto, o método dos componentes principais não considera a variabilidade entre as observações. Esta pode ser avaliada pelo modelo matemático de análise de fatores. Na análise de fatores, cada observação (x_i) é representada em termos de uma função linear de variáveis *fatores comuns*, e de *variáveis específicas latentes* do sinal x_i

$$x_i = \lambda_{ij} \cdot y_j + \dots + \lambda_{im} \cdot y_m + e_i \quad (\text{expressão 9})$$

onde o y_j é a j -ésima variável fator comum; λ_{ij} é o coeficiente da i -ésima observação do j -ésimo fator comum; e e_i é a i -ésima variável fator específica. As covariâncias das observações x_i são dimensionadas somente pelos fatores específicos.

4. Materiais e Métodos

O estudo foi desenvolvido e transcrito no laboratório de Processamento de Sinais Biológicos do programa de Engenharia Biomédica da COPPE - UFRJ.

4.1. Casuística

A casuística deste estudo foi constituída por trinta e seis (36) voluntários que preencheram os critérios de participação abaixo definidos:

4.1.1. Critérios de Inclusão

- Indivíduo alfabetizado possuindo idade de vinte e um (21) a sessenta e cinco (65) anos;

4.1.2. Critérios de Exclusão

- Possuir diagnóstico ou sintomas de doença neurológica ou psiquiátrica;
- Fazer uso de drogas psicoativas terapêuticas (ex.: hipnóticos, ansiolíticos, antidepressivos, neurolépticos, antiepilépticos, anfetamínicos, etc.);
- Ter ingerido bebida alcoólica nas últimas seis horas;
- Fazer uso de drogas ilícitas;
- Acuidade visual gravemente comprometida (inferior a 20/200 na “carta de Rosenbaum”), mesmo com correção refrativa;
- Daltonismo ou incapacidade para diferenciar cores;

4.1.3. Características da casuística

- Gênero (variável nominal): dos 36 voluntários, 18 são mulheres;
- Nível de escolaridade (variável ordinal):
 - I. Até o ensino fundamental completo – dois (2) voluntários;
 - II. Do nível I até o ensino médio completo – três (3) voluntários;
 - III. Do nível II até o ensino superior completo – nove (9) voluntários;
 - IV. Além do ensino superior – 22 voluntários.

- Dominância manual (variável nominal): trinta e três (33) voluntários se consideraram manidestros. Três voluntários se consideraram canhotos, e foram classificados como tal pelo Questionário de Dominância Manual de Edimburgo (OLDFIELD, 1971).
- Idade, em anos completos (variável quantitativa contínua discretizada por truncamento): as estatísticas descritivas desta variável, assim como seu histograma, estão expostos abaixo (figura 21 e tabela 1).

Tabela 1: Estatísticas descritivas referentes à variável 'Idade' (em anos completos).

<i>Mínimo</i>	<i>1º quartil</i>	<i>Mediana</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>3º Quartil</i>	<i>Máximo</i>
21	26	27	31,08	10,28	31	64

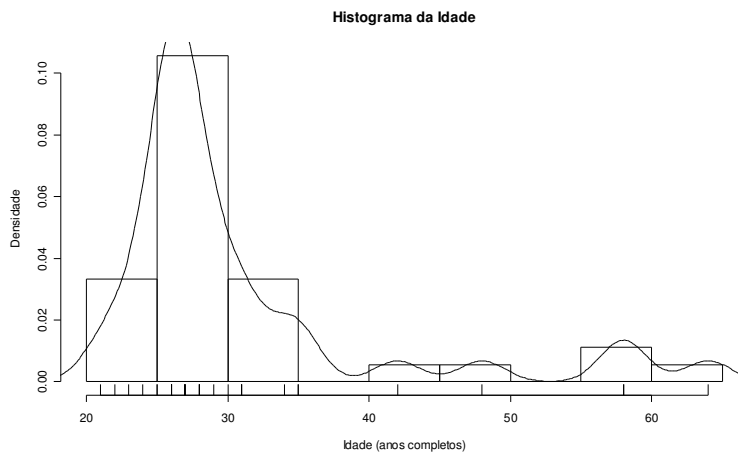


Figura 21: Histograma da variável 'Idade' (em anos completos).

4.2. Procedimento Experimental

Os voluntários foram avaliados (submetidos ao protocolo experimental) em ambiente confortável: a sala de exame era climatizada, silenciosa e bem iluminada. Sentavam-se em cadeira acolchoada, com o plano dos olhos à distância de setenta e cinco centímetros (75 cm) do plano do monitor. O horário de realização dos exames dependeu da disponibilidade do voluntário e do examinador, mas foram evitados horários de início do teste além de 18:00 h, antes de 8:00 h, e até uma hora pós-prandial, com o intuito de minorar o efeito, sobre a atenção, de eventual sonolência.

A estimulação visual consistiu em uma variação do paradigma de Stroop. Palavras referentes a nomes de cores surgiam, isoladamente e seqüencialmente, no

centro do monitor com fundo preto. O nome (palavra) da cor e a matiz dos caracteres da palavra (sendo uma matiz para a palavra inteira) variavam de forma semi-aleatória, de modo a proporcionar dois tipos de estímulos, a saber: a) estímulos com coincidência entre o nome e matiz (este foi denominado “COINCIDENTE”); b) estímulos com discordância entre nome e matiz (denominado “NÃO-COINCIDENTE”). As cores utilizadas foram o amarelo, verde, vermelho, azul, rosa, cinza e o branco. Cada estímulo permanecia por 300 ms no monitor (janela de estimulação).

Para as variações da atividade EEG terem tempo para se desenvolverem e se recuperarem, o intervalo entre dois estímulos ou eventos consecutivos deve ser superior a alguns segundos (Pfurtscheller & Lopes da Silva 1999). Portanto, o intervalo entre os estímulos foi semelhante ao utilizado no artigo de Mima *et al.* (2001), no qual foi aleatorizado entre 3 e 5 s, evitando que o participante possuísse algum nível de previsão de quando o estímulo ocorreria.

O voluntário devia fixar o olhar no centro do monitor (com suas lentes de correção, quando aplicável), e sua resposta ao estímulo consistia no pronto pressionamento de uma entre duas maniquetas disponíveis (uma em cada mão). Duas condições de respostas foram elaboradas (figura 22):

1. Condição Padrão – quando o voluntário pressionava a maniqueta da mão direita em resposta a estímulo “coincidente”. Vinte e nove (29) voluntários manidestros e os três indivíduos canhotos foram testados nessa condição de resposta;
2. Condição Inversa – o voluntário pressionava a maniqueta da mão esquerda em resposta ao estímulo coincidente. Essa condição de resposta foi elaborada com o fim de avaliar se o sentido (“vetorial”) da dominância manual direciona a assimetria dos tempos de reação segregados pelo tipo de estímulo. Quatro voluntários manidestros foram avaliados nessa condição de resposta.

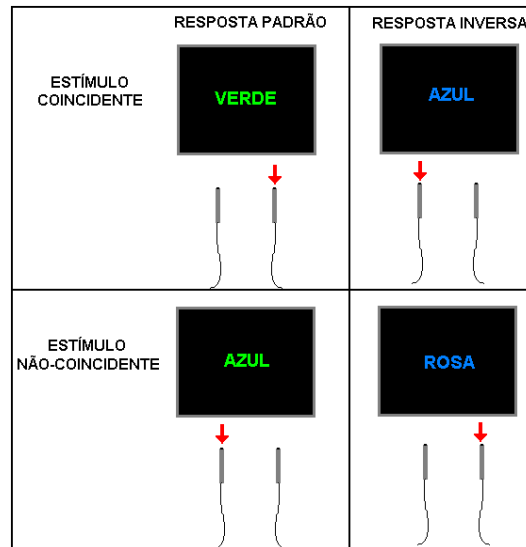


Figura 22: Representação dos tipos de estímulo e dos tipos de resposta. A seta vermelha representa qual maniqueta deverá ser pressionada na situação em questão.

A avaliação dos canhotos na condição padrão e os manidestros na condição inversa visou apenas a uma verificação sobre influência da lateralidade no sentido da assimetria das respostas. Ou seja, caso a assimetria se mantenha com mesmo sentido nestes dois casos, quando comparados aos destros submetidos à condição padrão, pode-se inferir que a lateralidade não é o evento determinante da assimetria.

Com o objetivo de reduzir os “artefatos de movimento”, foi recomendado aos voluntários que permanecessem relaxados, com os maxilares ligeiramente entreabertos e com a menor movimentação cervical possível. Também foi solicitada a redução da frequência do piscar palpebral, e que o botão da maniqueta deveria ser pressionado de forma incisiva e completa, para que a resposta fosse registrada adequadamente pelo computador. Um período de ensaio de aproximadamente três a cinco minutos foi aplicado para familiarização do voluntário com o aparato (este período não foi registrado).

Dois computadores distintos foram utilizados, um para geração dos estímulos e o outro para aquisição do sinal eletroencefalográfico. O primeiro enviava um sinal para a entrada de “trigger” do EEG via porta paralela. Também era o responsável pelo registro dos dados comportamentais referentes a cada realização, quais sejam: Tipo de estímulo (se coincidente, ou não-coincidente); Tipo de resposta (se com maniqueta da direita, ou da esquerda); Tempo de reação. O programa responsável pelo processo foi desenvolvido em linguagem Delphi 5.0 (Inprise Corporation).

Cada voluntário foi submetido a quatro sessões (ou blocos) de 120 estímulos (ou realizações), sendo 60 estímulos do tipo coincidente e 60 estímulos do tipo não-coincidente, totalizando 480 realizações (240 coincidentes e 240 não coincidentes). O intervalo entre os blocos foi de cinco minutos. Dois minutos de EEG espontâneo em repouso sensorial (olhos fechados) foram registrados precedendo cada bloco e após o quarto bloco. Entre os blocos, era conferido, também, o estado de fixação dos eletrodos. O tempo médio total do procedimento, incluindo colocação e retirada dos eletrodos, foi de 105 min.

4.3. Aquisição dos Dados

4.3.1. Dados Comportamentais

O computador de estimulação foi responsável pelo registro das variáveis “primárias” referentes a cada realização, a saber:

- a) Tipo de Estímulo – variável nominal. Desfecho ‘A’ se refere ao estímulo “coincidente”; desfecho ‘D’ se refere ao estímulo “não-coincidente”;
- b) Tipo de Resposta – variável nominal. Desfecho ‘a’ se refere à resposta “coincidente”; desfecho ‘d’ se refere à resposta “não-coincidente”;
- c) Tempo de Reação (TR) – variável contínua, aferida em milissegundos.

Somente as realizações válidas, ou seja, aquelas em que o tempo de reação foi registrado adequadamente pelo equipamento (pelo pressionar da maniqueta), foram consideradas na análise comportamental.

4.3.2. Dados Eletrofisiológicos.

O sistema internacional 10-20 de disposição dos eletrodos foi adotado. As derivações foram monopolares, sendo que a referência utilizada consistiu na média dos lóbulos auriculares. O eletrodo de terra foi posicionado em FPz. Todos os vinte canais disponíveis no equipamento (BrainNet BNT-36, EMSA, Rio de Janeiro) foram usados: Fz, Cz, Pz, Oz (eletrodos sagitais); FP1, F3, C3, P3, O1, F7, T3, T5 (eletrodos à esquerda); FP2, F4, C4, P4, O2, F8, T4, T6 (eletrodos à direita) . As impedâncias dos eletrodos foram mantidas abaixo de 5 k Ω .

4.4. Pré-Processamento

4.4.1. Dados Comportamentais

A partir das variáveis “primárias” das realizações válidas, formaram-se as variáveis comportamentais de relevância ao estudo. Elas foram elaboradas considerando-se cada um dos quatro blocos de cada voluntário, a saber: v_{ij} , significando a variável “v” referente ao bloco ‘j’ do indivíduo ‘i’ (Quadro 3). Variáveis representando a média total por indivíduo (mv_i), e por bloco (V_j), também foram criadas (tabela 2).

Quadro 3: Variáveis comportamentais referentes ao bloco ‘j’ ($j \rightarrow 1$ a 4), e ao voluntário ‘i’ ($i \rightarrow 1$ a 36).

Voluntário i (i → 1 a 36) e Bloco j (j → 1 a 4)	
Variável	Definição
TR_{ij}	Média dos tempos de reação válidos (ou seja, registrados. N máximo = 120) do bloco ‘j’, do voluntário ‘i’ (p. ex.: TR_{11} = média referente ao 1º bloco do voluntário 1);
A_{ij}	Média dos tempos de reação válidos referentes (somente) aos estímulos coincidentes (N máximo = 60), do bloco ‘j’, do voluntário ‘i’;
D_{ij}	Média dos tempos de reação válidos referentes (somente) aos estímulos não-coincidentes (N máximo = 60), do bloco ‘j’, do voluntário ‘i’;
Cst_{ij}	$D_{ij} - A_{ij}$. Diferença entre as médias referentes a cada tipos de estímulo (componente do TR devido ao efeito Stroop – “Componente Stroop”), do bloco ‘j’, do voluntário ‘i’;
Cp_{ij}	“Componente pessoal” do bloco ‘j’, do voluntário ‘i’; componente do tempo de reação, após exclusão do “componente Stroop”. É o próprio A_{ij} ;
eA_{ij}	Percentual de erros (de resposta) aos estímulos coincidentes, em relação a todas as realizações válidas (N máximo = 120) do bloco ‘j’, do voluntário ‘i’;
eD_{ij}	Percentual de erros (de resposta) aos estímulos não-coincidentes, em relação a todas as realizações válidas (N máximo = 120) do bloco ‘j’, do voluntário ‘i’;
eT_{ij}	Percentual total de erros de resposta ($eA_{ij} + eD_{ij}$) do bloco ‘j’, do voluntário ‘i’;
mT_i	Média dos tempos de reação de todas as realizações do voluntário ‘i’ (p.ex.: $mT_{36} = [TR_{361} + TR_{362} + TR_{363} + TR_{364}] / 4$, média do voluntário 36);
mA_i	Média dos tempos de reação a todos os estímulos coincidentes do voluntário ‘i’;
mD_i	Média dos tempos de reação a todos os estímulos não-coincidentes do voluntário ‘i’;
Cst_i	$mD_i - mA_i$. O “componente Stroop” do voluntário ‘i’;

<i>Variável</i>	<i>Definição</i>
Cp_i	“Componente pessoal” do voluntário ‘i’; trata-se do próprio mA_i ;
eA_i	Percentual total de erros (de resposta) aos estímulos coincidentes, considerando todas as realizações válidas (N máximo = 480) do voluntário ‘i’;
eD_i	Percentual total de erros (de resposta) aos estímulos não-coincidentes, considerando todas as realizações válidas (N máximo = 480) do voluntário ‘i’;
eT_i	Percentual total de erros do voluntário ‘i’. $eA_i + eD_i$.
TR_j	Média dos 36 TR_{ij} referentes ao bloco ‘j’ (p.ex.: [$TR_3 = TR_{13} + TR_{23} + TR_{33} + \dots + TR_{363}$] / 36, média do bloco 3);
A_j	Média dos 36 A_{ij} referentes ao bloco ‘j’;
D_j	Média dos 36 D_{ij} referentes ao bloco ‘j’;
Cst_j	Média dos 36 Cst_{ij} referentes ao bloco ‘j’;
Cp_j	Média dos 36 Cp_{ij} referentes ao bloco ‘j’;
eA_j	Média dos 36 eA_{ij} referentes ao bloco ‘j’
eD_j	Média dos eD_{ij} referente ao bloco ‘j’
eT_j	Média dos 36 eT_{ij} referentes ao bloco ‘j’

Tabela 2: As variáveis relativas aos tempos de reação foram explicitadas em função dos respectivos voluntário e bloco. Os voluntários estão dispostos nas colunas e os blocos foram dispostos nas linhas da tabela.

Sujeito Bloco	1	2	...	36	Média / bloco
Bloco 1	$TR_{1,1}; (A_{1,1}; D_{1,1})$	$TR_{2,1}; (A_{2,1}; D_{2,1})$	...	$TR_{36,1}; (A_{36,1}; D_{36,1})$	$TR_1; (A_1, D_1)$
Bloco 2	$TR_{1,2}; (A_{1,2}; D_{1,2})$	$TR_{2,2}; (A_{2,2}; D_{2,2})$	...	$TR_{36,2}; (A_{36,2}; D_{36,2})$	$TR_2; (A_2, D_2)$
Bloco 3	$TR_{1,3}; (A_{1,3}; D_{1,3})$	$TR_{2,3}; (A_{2,3}; D_{2,3})$	...	$TR_{36,3}; (A_{36,3}; D_{36,3})$	$TR_3; (A_3, D_3)$
Bloco 4	$TR_{1,4}; (A_{1,4}; D_{1,4})$	$TR_{2,4}; (A_{2,4}; D_{2,4})$	...	$TR_{36,4}; (A_{36,4}; D_{36,4})$	$TR_4; (A_4, D_4)$
Média / indivíduo	$mT_1; (mA_1; mD_1)$	$mT_2; (mA_2; mD_2)$	...	$mT_{36}; (mA_{36}; mD_{36})$	mT; (mA; mD)

4.4.2. Dados Eletrofisiológicos

As derivações foram registradas utilizando-se a faixa de filtragem passa-banda mais larga disponível no equipamento, com frequências de corte de 0,1 Hz e 100 Hz. Não foi utilizado, durante a aquisição do sinal, filtro *notch* de 60 Hz, uma vez que o

nível de interferência da rede era bastante reduzido. O sinal filtrado foi digitalizado a uma taxa de 400 Hz e com resolução de 16 bits.

4.5. Processamento

4.5.1. Dados Comportamentais

O processamento dos dados comportamentais visou à elucidação das seguintes questões principais:

1. O paradigma adotado no estudo documentou o efeito de interferência?
 - a. A dominância manual, ou seja, a habilidade manual foi responsável pelo “efeito de interferência” encontrado?
2. A evolução temporal dos tempos de reação foi avaliada:
 - a. Houve efeito de aprendizado ou fadiga entre os blocos?
 - b. O “componente de Stroop” (interferência) variou entre os blocos?
 - c. O “componente pessoal” variou entre os blocos?
 - d. Definir os blocos que poderiam ser considerados pertencentes a uma mesma população.
3. As variáveis comportamentais temporais, a saber: Tempo de Reação, Componente Pessoal e Componente Stroop, correlacionam-se com as demais variáveis comportamentais e casuísticas (Percentual de Erros, Gênero, Idade, e Nível de Escolaridade)?

As análises estatísticas para responder a estas perguntas foram realizadas no programa estatístico R Versão 1.8.1 - *A Language and Environment Copyright, 2003 (The R Development Core Team)*. Para todos os testes, assumiu-se nível de significância $\alpha = 5\%$. As variáveis aleatórias do estudo foram testadas estatisticamente quanto à normalidade pelo Teste de Shapiro-Wilk. Os testes paramétricos utilizados foram:

- Teste t de Student, valendo-se das especificações *default* da função *t.test* do programa (R), a saber: teste bilateral (bi-caudal) quanto à hipótese alternativa; variâncias consideradas desiguais e estimadas separadamente para ambos os grupos e aplicando a aproximação de Welch para os graus de liberdade. Foram considerados os estados de dependência entre as variáveis testadas e o Teste t pareado foi usado na comparação de duas amostras dependentes.
- Testes de correlação: Correlação produto-momento de Pearson e o R^2 “ajustado”.

Os testes não-paramétricos foram usados quando a normalidade não pôde ser estatisticamente aceita, ou quando as condições necessárias ao emprego dos testes paramétricos não foram atendidas (p.ex.: heterocedasticidade):

- Teste de Wilcoxon, valendo-se da especificação *default* da função *wilcox.test* do programa (R) quanto à hipótese alternativa, que consiste em teste bilateral (bicaudal). As comparações de amostras independentes foram feitas aplicando-se o Teste dos Postos Somados de Wilcoxon, equivalente ao Teste Mann-Whitney. As amostras dependentes foram comparadas aplicando-se o Teste dos Postos Sinalizados de Wilcoxon.
- Teste de Friedman, usado na análise de “Desenhos em Blocos Completos” (Quadro 4), cuja suposição consiste na independência mútua dos “Blocos” (não confundir com os blocos ou sessões do atual protocolo experimental).

Quadro 4: Modelo da disposição do Desenho em Blocos Completos com b blocos e k intervenções.

	Intervenção 1	Intervenção 2	...	Intervenção k
Bloco 1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1k}
Bloco 2	X_{21}	X_{22}	...	X_{2k}
...
Bloco b	X_{b1}	X_{b2}	...	X_{bk}

- Teste de Correlação de Kendall, no qual a estatística Tau é usada na estimativa da associação.

4.5.2. Dados Eletrofisiológicos

A extração do ERP a partir do sinal eletroencefalográfico foi executada por um algoritmo elaborado no programa Matlab Versão 5.2 (*The Mathworks Inc.*), promovendo-se a média coerente entre as épocas de sinais sincronizados por um canal de “*trigger*”. Cada época consistia em trecho de EEG iniciado 200 ms antes do início da estimulação (aparição da palavra na tela do monitor) e finalizado 1000 ms após o início da estimulação. Um algoritmo de rejeição de artefatos eliminava épocas com amplitude do sinal superior a 100 μ V (limiar de rejeição). Além disso, o programa eliminava, obrigatoriamente (rejeição fixa), 20% das épocas do bloco, i.e. aquelas consideradas mais díspares (GILAD *et al.*, 2004).

Os ERP foram segregados conforme os tipos de estímulo que os deflagraram (estímulos-específicos: coincidente ou não-coincidente). Portanto, obtiveram-se, para cada voluntário, quatro blocos de ERP, cada bloco possuindo dois ERP: o relativo aos estímulos coincidentes e o referente aos estímulos não-coincidentes. O algoritmo realizava, para cada voluntário, a média coerente entre os blocos selecionados. Também executava o “*grand average*” (média coerente de todas as realizações dos blocos selecionados de todos os voluntários), e a diferença entre os ERP estímulos-específicos, com aplicação do Teste t “corrido” (*running t test*) para estimação dos intervalos de tempo com diferença estatisticamente significativa.

O programa também auxiliou na procura dos potenciais específicos de interesse, a saber: o P300 e o N400-*like*. Ele identificava os picos (no caso do P300) e os vales (no N400) de amplitudes, dentro de suas respectivas janelas temporais de busca (P300 entre 250 e 600 ms; N400 entre 350 e 700 ms). Permitia, entretanto, a seleção manual (com um cursor) do potencial correto, quando necessário, e disponibilizava suas latências e amplitudes. Para facilitar esta correção, foi realizada filtragem digital passa-banda de fase nula (associação em cascata de filtros passa-altas e passa-baixas *Butterworth* de ordem 2) com frequências de corte específicas para cada ERP (5–20 Hz para o P300 e 0,5–10 H).

A dificuldade na precisa determinação da latência e amplitude do P300 (definição de seu pico) tem sido descrita e atribuída à sua composição por dois componentes (P3a e P3b), e por sua variável morfologia, por vezes, obtusa (OKEN, 1997). A definição aqui adotada para o P300, visando à identificação padronizada de seu pico, consistiu na terceira inflexão positiva (P3) ocorrida dentro da janela temporal de 250 a 600 ms, principalmente nas derivações sagitais frontais, centrais e parietais.

4.5.3. Correlação entre Variáveis Comportamentais e

Eletrofisiológicas.

Avaliou-se também a correlação entre as variáveis que mensuram o desempenho comportamental no paradigma, a saber: Tempo de Reação; Componente Stroop; Componente Pessoal; Percentual de Erros – e as variáveis eletrofisiológicas:

- a) Diferença de latências dos potenciais (P300 e N400) entre os tipos de estímulos (Não-coincidente – Coincidente);

- b) Diferença de amplitudes dos potenciais (P300 e N400) entre os tipos de estímulos (Não-coincidente – Coincidente);
- c) Diferença de latência entre os potenciais (N400 – P300) considerando os tipos de estímulos.

5. Resultados

5.1. Resultados Comportamentais

As medidas de resumo das variáveis comportamentais referentes à conjunção de todos os blocos estão expostas na tabela 3. As variáveis temporais (referentes aos tempos de reação) parecem seguir distribuições normais (gaussianas). O percentual de erros, entretanto, com distribuição nitidamente assimétrica, não segue a normalidade (tabela 4, figura 23). Portanto, os histogramas dessa variável referentes a cada um dos quatro blocos, foram discriminados (figura 23)

Tabela 3: Medidas de posição central e de dispersão das variáveis referentes a conjunção de todas as realizações válidas (todos os quatro blocos). As definições das variáveis estão expostas no quadro 3, e suas respectivas unidades encontram-se entre parênteses. DP→ desvio padrão. N = 36.

Variável	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	DP	3º Quartil	Máximo
mT (ms)	536,50	663,80	686,00	685,70	63,78	723,90	808,60
mA[Cp] (ms)	509,70	627,90	657,70	656,10	67,44	690,40	807,80
mD (ms)	563,20	689,50	722,60	716,70	65,33	767,10	823,10
Cst. (ms)	-1,40	34,54	65,26	60,65	31,48	84,60	119,30
eA (%)	0,00	0,63	1,13	1,57	1,39	2,11	6,55
eD (%)	0,21	0,67	1,19	1,47	1,19	2,03	6,67
eT (%)	0,57	1,22	2,73	3,04	2,24	3,85	11,04

Tabela 4: Testes formais de Normalidade. Os valores dentro das células expressam os respectivos valores p. A hipótese nula consiste na aderência a uma distribuição normal.

Teste	Variável	mT	mD	mA [Cp]	Componente Stroop	eT
	Shapiro-Wilk		0,42	0,14	0,86	0,35	0,0005

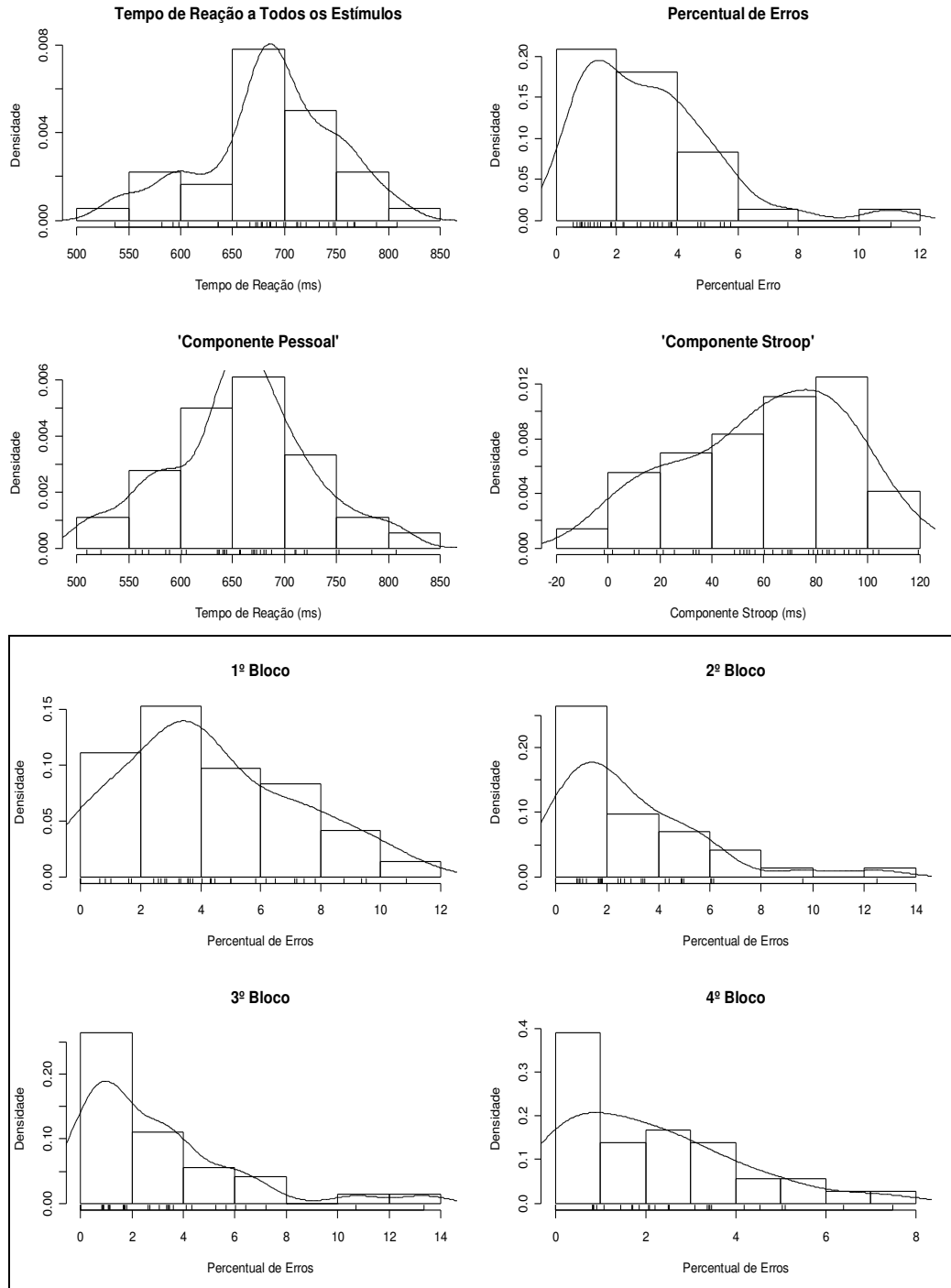


Figura 23: Histogramas das variáveis (junção dos 4 blocos) “Tempo de Reação” referente aos dois tipos de estímulos; “Percentual de Erros” de resposta aos dois tipos de estímulos; “Componente Pessoal”, que consiste no tempo de reação aos estímulos coincidentes; e o “Componente Stroop”. Os histogramas de “Percentual de Erros” referentes a cada um dos quatro blocos, podem ser visualizados no interior do quadro.

5.1.1. Efeito de Interferência (efeito Stroop)

O efeito Stroop (maior latência de resposta ao estímulo não-coincidente, comparativamente à resposta ao estímulo coincidente) foi claramente documentado no atual paradigma (figura 24). Quando os dados referentes aos quatro blocos são agregados, registra-se uma diferença positiva entre as médias dos tempos de reação individuais (mD vs. mA), altamente significativa ao se aplicar o Teste t Pareado (tabela 5).

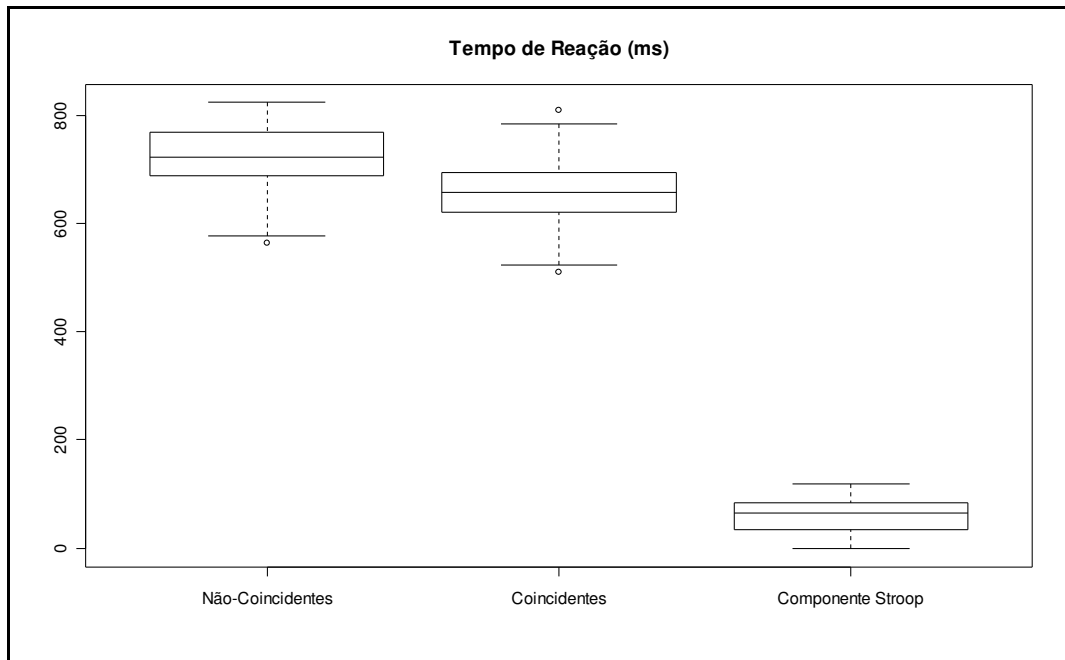


Figura 24: *Box plots* de “média global dos tempos de reação aos estímulos Não-coincidentes”, “média global dos tempos de reação aos estímulos Coincidentes” e “Componente Stroop”.

Tabela 5: Estatísticas referentes ao Teste t pareado para diferença entre as médias mD – mA.

<i>Estatística</i>	<i>Estimativa</i>
Estatística t	11,56
Graus de Liberdade	35
Valor-p	$1,7 \times 10^{-13}$
Intervalo de Confiança da Diferença (95%)	50 ms \Leftrightarrow 71,3 ms
Diferença entre as Médias	60,65 ms

Esse resultado também pode ser inferido pela análise da variável “Componente Stroop” ($Cst = mD - mA$; tabela 3 e figura 23). O valor mínimo dessa variável foi: $-1,40$ ms; refere-se a um voluntário do sexo masculino, cujo valor-p para diferença entre as duas amostras de tempos de reação (não-coincidente vs. coincidente) foi de 0,981 (Teste de Wilcoxon para amostras dependentes, bi-caudal). Além desse voluntário, somente três outros indivíduos não apresentaram diferença entre as duas amostras de tempos de reação (não-coincidente vs. coincidente, o “efeito Stroop”) estatisticamente significativa. Ou seja, quatro indivíduos (duas mulheres e dois homens, todos manidestros), entre os 36 voluntários, não apresentaram “efeito Stroop” significativo.

Não houve diferença, entretanto, no Percentual de Erros às respostas aos estímulos coincidentes e não-coincidentes (tabela 6).

Tabela 6: Percentual de Erros de resposta aos tipos de estímulo.

<i>Tipo de Estímulo</i>	<i>N</i>	<i>Mediana</i> [Mínimo–Máximo]	<i>Média</i> [dp]	<i>Teste Wilcoxon</i> <i>Valor-p</i>
Erro Não-Coincidentes (%)	36	1,19 [0,21 – 6,67]	1,47 [1,19]	0,932
Erro Coincidentes (%)	36	1,13 [0 – 6,55]	1,57 [1,39]	

5.1.1.1. O “Componente Stroop” encontrado foi um viés da dominância manual?

Todos os voluntários submetidos às situações experimentais elaboradas para avaliar se o “componente Stroop” originou-se de um viés da dominância (habilidade) manual, a saber:

- a) voluntários canhotos submetidos à condição padrão de resposta, ou seja, a resposta a um estímulo coincidente se dava pelo pressionamento da maniqueta à direita; três voluntários encontravam-se nessa situação;
- b) voluntários manidestros submetidos à condição inversa de resposta, ou seja, a resposta ao estímulo coincidente se dava pelo pressionamento da maniqueta à esquerda; quatro voluntários foram incluídos nessa situação;

demonstraram diferença estatisticamente significativa de tempos de reação entre estimulações do tipo não-coincidente vs. coincidente (o “efeito Stroop” – tabela 7).

Tabela 7: Estatísticas referentes à diferença entre as duas amostras de tempos de reação (não-coincidente vs. coincidente) dos voluntários usados para análise do efeito da habilidade manual. O valor-p do teste estatístico usado, teste de Wilcoxon, demonstra a existência do efeito Stroop em todos os voluntários em ambas as situações experimentais ([mdn] – mediana).

Idade (anos) – gênero	Condição	“Cst_i”	Mediana A	Valor-p
Dominância Manual	Resposta	(mD_i – mA_i)	Mediana D	Wilcoxon
26 – homem	Inversa	47,82 ms	625 ms	2,24 . 10 ⁻⁰⁷
manidestro			672 ms	
24 – homem	Inversa	53,5 ms	500 ms	2,75 . 10 ⁻¹⁵
manidestro			555 ms	
29 – mulher	Inversa	56,35 ms	641 ms	9,88 . 10 ⁻¹¹
manidestra			703 ms	
25 – mulher	Inversa	100,63 ms	719 ms	1,13 . 10 ⁻¹³
manidestra			828 ms	
32 – homem	Padrão	50,9 ms	541 ms	<2,2 . 10 ⁻¹⁶
canhoto			601 ms	
31 – homem	Padrão	95,6 ms	578 ms	<2,2 . 10 ⁻¹⁶
canhoto			672 ms	
27 – mulher	Padrão	89,78 ms	641 ms	7,84 . 10 ⁻¹³
canhota			750 ms	

5.1.2. Evolução Temporal dos Tempos de Reação

Conceitos fundamentados na evolução temporal do desempenho das variáveis comportamentais foram avaliados analisando-as por blocos (do 1º ao 4º bloco).

5.1.2.1. Efeito Aprendizado ou Fadiga

O efeito aprendido foi avaliado pela evolução temporal da média, por blocos, do Tempo de Reação. A evolução temporal, ao longo dos blocos, do Percentual de Erros também foi analisada (figura 25). O teste não paramétrico de Friedman foi utilizado para comparação concomitante dos quatro blocos (tabela 8).

Tabela 8: Evolução das variáveis “Tempo de Reação” e “Percentual de Erros” ao longo dos quatro blocos.

<i>Bloco</i>	<i>Tempo de Reação Média [dp]</i>	<i>Friedman Valor-p</i>	<i>Percentual de Erros Mediana [Min – Max]</i>	<i>Friedman Valor-p</i>
1	710,56 [65,7] ms	$1,88 \cdot 10^{-06}$	3,68 [0 – 10,8]%	0,0015
2	687,45 [69,9] ms		1,81 [0 – 12,5]%	
3	680,61 [71,8] ms		1,75 [0 – 13,3]%	
4	664,08 [66,1] ms		1,79 [0 – 7,5]%	

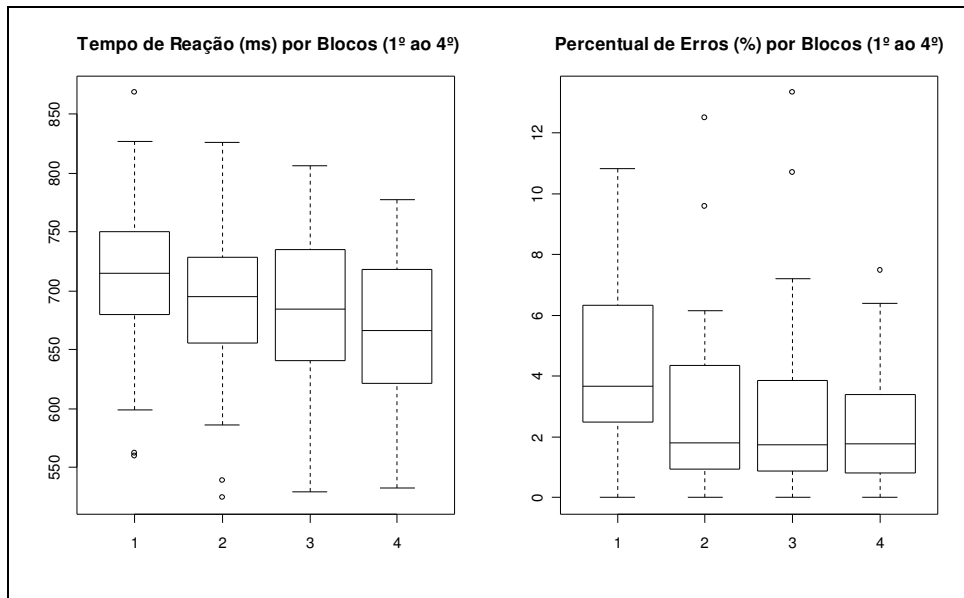


Figura 25: *Box plots* , por blocos, das variáveis “Tempo de Reação” (em ms) e “Percentual de Erros”.

O efeito aprendido ficou bem documentado na análise dos dados referentes às variáveis que estimaram o desempenho comportamental no decorrer do protocolo experimental. (tabela 8 e figura 24). Entretanto, não houve diferença estatisticamente significativa no desempenho comportamental entre os blocos 2 e 3 (tabela 9). Estes blocos, portanto, poderiam ser considerados oriundos de uma mesma população de dados.

Tabela 9: Evolução temporal do desempenho das variáveis Tempo de Reação e Percentual de Erros. As hipóteses nulas dos testes estatísticos abaixo consideram as diferenças entre as variáveis, iguais a zero.

Comparação Pareada das Variáveis por Blocos			
<i>Tempo de Reação por Bloco</i>		<i>Percentual de Erros por Bloco</i>	
Teste t pareado:	valor-p	Teste Wilcoxon pareado:	valor-p
TR1 vs TR2	0,0014	e1 vs. e2	0,0084
TR2 vs. TR3	0,2163	e2 vs. e3	0,8575
TR3 vs. TR4	0,0017	e3 vs. e4	0,0293

5.1.2.2. Influência do Efeito Aprendizado sobre os Componentes “Pessoal” e “Stroop” do Tempo de Reação.

A influência exercida pelo efeito aprendido sobre os componentes teóricos do Tempo de Reação (o Componente Pessoal e o Componente Stroop) foi analisada pela evolução temporal do desempenho dessas variáveis ao longo dos blocos (figura 26 e tabela 10).

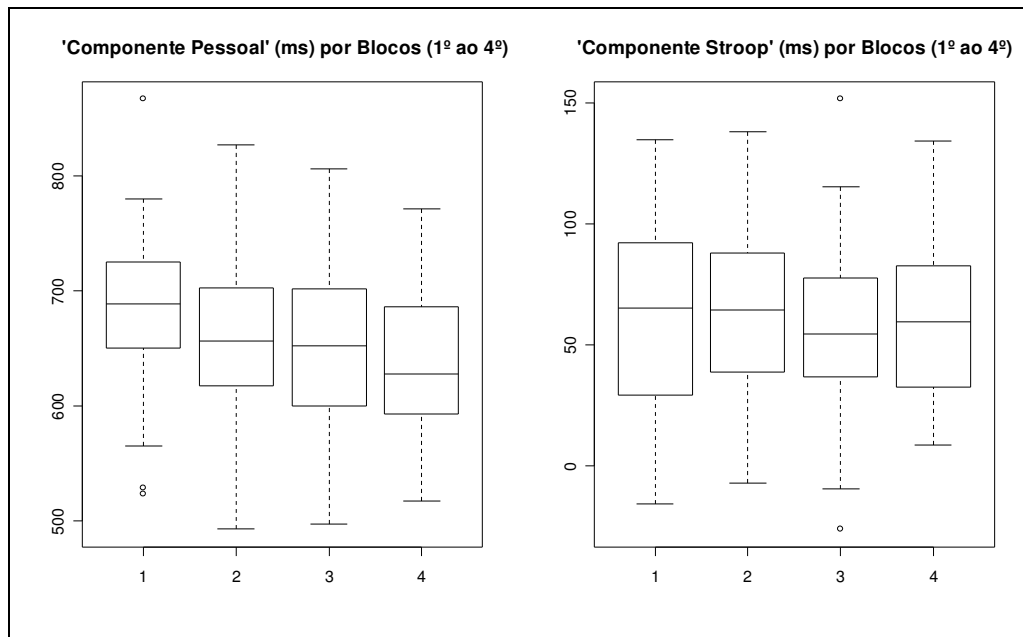


Figura 26: *Box plots* ilustrando a evolução temporal do desempenho das variáveis “Componente Pessoal” e “Componente Stroop” ao longo dos blocos.

Tabela 10: O efeito aprendido relativo aos componentes teóricos do tempo de reação (C. →Componente).

<i>Bloco</i>	<i>C. Pessoal (ms)</i> <i>Média [dp]</i>	<i>Friedman</i> <i>Valor-p</i>	<i>C. Stroop (ms)</i> <i>Média [dp]</i>	<i>Friedman</i> <i>Valor-p</i>
1	680,9 [69,3]	8,25 . 10 ⁻⁰⁶	62,3 [40,3]	0,357
2	656,9 [74,8]		62,9 [37,1]	
3	652,6 [80,5]		55,9 [36,5]	
4	633,9 [66,9]		61,5 [31,8]	

O efeito aprendido exerceu influências diferenciadas sobre os componentes teóricos do “Tempo de Reação”. O “Componente Pessoal” variou significativamente ao longo dos quatros blocos, enquanto o “Componente Stroop” permaneceu estável.

5.1.3. Correlação entre Variáveis

5.1.3.1. Entre Variáveis Comportamentais

- a. “Tempo de Reação” e “Percentual de Erros” ao longo dos blocos: correlacionando [TR1, TR2, TR3, TR4] com [e1, e2, e3, e4];

O Teste de Kendall foi empregado com vistas a avaliar a correlação entre as (duas) matrizes referentes às variáveis “Tempo de Reação” e “Percentual de Erros” ao longo dos blocos (do 1º ao 4º bloco). A estimativa do coeficiente de correlação *Tau* não foi estatisticamente diferente de zero (tabela 11).

Tabela 11: Teste de Kendal correlacionando [TR1, TR2, TR3, TR4], com [e1, e2, e3, e4].

<i>Estatística</i>	<i>Tau</i>	<i>Valor-p</i>
<i>Estimativa</i>	0,0055	0,92

- b. “Componente Pessoal” e “Percentual de Erros” ao longo dos blocos: correlacionando [Cp₁, Cp₂, Cp₃, Cp₄] com [e1, e2, e3, e4];

Do mesmo modo, o Teste de Kendall foi aplicado às (duas) matrizes referentes às variáveis “Componente Pessoal” e “Percentual de Erros” ao longo dos blocos (do 1º ao 4º bloco). A estimativa do coeficiente de correlação *Tau* não foi estatisticamente diferente de zero (tabela 12).

Tabela 12: Teste de Kendal correlacionando [Cp₁, Cp₂, Cp₃, Cp₄] com [e1, e2, e3, e4].

<i>Estatística</i>	<i>Tau</i>	<i>Valor-p</i>
<i>Estimativa</i>	-0,027	0,63

- c. “Componente Stroop” e “Percentual de Erros” ao longo dos blocos: correlacionando [Cst₁, Cst₂, Cst₃, Cst₄] com [e1, e2, e3, e4];

Por outro lado, a estimativa do coeficiente de correlação *Tau* foi estatisticamente diferente de zero (tabela 13) ao se aplicar o Teste de Kendall às (duas) matrizes referentes às variáveis “Componente Stroop” e “Percentual de Erros” ao longo dos blocos (do 1º ao 4º bloco).

Tabela 13: Teste de Kendal correlacionando [Cst₁, Cst₂, Cst₃, Cst₄] com [e1, e2, e3, e4].

<i>Estatística</i>	<i>Tau</i>	<i>Valor-p</i>
<i>Estimativa</i>	0,125	0,026

5.1.3.2. Entre Variáveis Casuísticas e Comportamentais.

- a. “Gênero” não teve correlação significativa com as variáveis “Tempo de Reação”, “Componente Pessoal”, “Componente Stroop” e “Percentual de Erros” (tabela 14), de modo que os desempenhos não diferiram entre os sexos.

Tabela 14: Correlação entre “Gênero” e variáveis comportamentais.

<i>Variável / Estatística</i>	<i>Masculino</i>	<i>Feminino</i>
Tempo de Reação (ms)		
Média (dp)	678,12 (69,69)	693,22 (58,29)
Teste t (valor-p)	0,49	
TR~Gênero → R ²	0,014	
Componente Pessoal (ms)		
Média (dp)	647,87 (73,77)	664,29 (61,48)
Teste t (valor-p)	0,47	
Cp~Gênero → R ²	0,015	

Tabela 14: Continuação.

Componente Stroop (ms)		
Média (dp)	61,18 (32,61)	60,11 (31,25)
Teste t (valor-p)	0,92	
Cst~Gênero → R ²	0,0003	
Percentual de Erros (%)		
Mediana (Mín. – Máx)	2,52 (0,68-11,04)	2,95 (0,57-5,56)
T. Wilcoxon (valor-p)	0,70	
T. Kendall - coeficiente T	0,058	
Valor-p	0,62	

- b. Avaliou-se a correlação entre “Idade” e as variáveis “Tempo de Reação”, “Componente Pessoal”, “Componente Stroop” e “Percentual de Erros”.

A variável casuística “Idade” não se correlacionou significativamente com nenhuma variável comportamental. Houve uma tendência à significância ($0,05 < \text{valor-p} < 0,1$) quando correlacionada ao “Tempo de Reação”; mesmo assim, o R² ajustado foi muito pequeno (tabela 15).

Tabela 15: Correlação entre “Idade” e variáveis comportamentais.

<i>Variável / Estatística</i>	<i>Estimativa</i>
Tempo de Reação	
mT~Idade → R ² ajustado	0,059
Valor-p da estatística t	0,0827
T. Kendall - coeficiente T	0,081
Valor-p	0,48
Componente Pessoal	
Cp~Idade → R ² ajustado	0,046
Valor-p da estatística t	0,109
T. Kendall - coeficiente T	0,055
Valor-p	0,64

Tabela 15: Continuação.

Componente Stroop	
Cst-Idade → R ² ajustado	-0,027
Valor-p da estatística t	0,78
T. Kendall - coeficiente T	0,078
Valor-p	0,50
Percentual de Erros	
T. Kendall - coeficiente T	0,128
Valor-p	0,27

- c. Avaliou-se também a correlação entre “Nível de Escolaridade” (Sch) e as variáveis “Tempo de Reação” (mT), “Componente Pessoal” (Cp), “Componente Stroop” (Cst) e “Percentual de Erros” (eT).

A variável “Percentual de Erros” correlacionou-se negativamente com o “Nível de Escolaridade” de forma significativa, porém fraca (tabela 16 e 17; figura 27).

Tabela 16: Estatísticas comportamentais de acordo com o “Nível de Escolaridade” (Sch).

<i>Sch</i>	<i>N</i>	<i>mT (ms)</i> <i>média [dp]</i>	<i>Cp (ms)</i> <i>média [dp]</i>	<i>Cst (ms)</i> <i>média [dp]</i>	<i>eT (%)</i> <i>mediana [min-max]</i>
I	2	708,06 [35,69]	665,46 [30,49]	91,35 [15,13]	4,39 [3,35 ⇔ 5,43]
II	3	687,56 [57,24]	648,75 [55,80]	78,05 [7,71]	5,75 [1,46 ⇔ 7,65]
III	9	688,89 [84,97]	661,74 [93,46]	55,22 [30,81]	3,73 [0,68 ⇔ 11,04]
IV	22	682,06 [59,92]	653,91 [62,27]	57,70 [33,45]	2,21 [0,57 ⇔ 4,89]

A correlação (negativa) entre “Escolaridade” e “Componente Stroop”, visualmente sugestiva (figura 27), não obteve significância estatística (tabela 17).

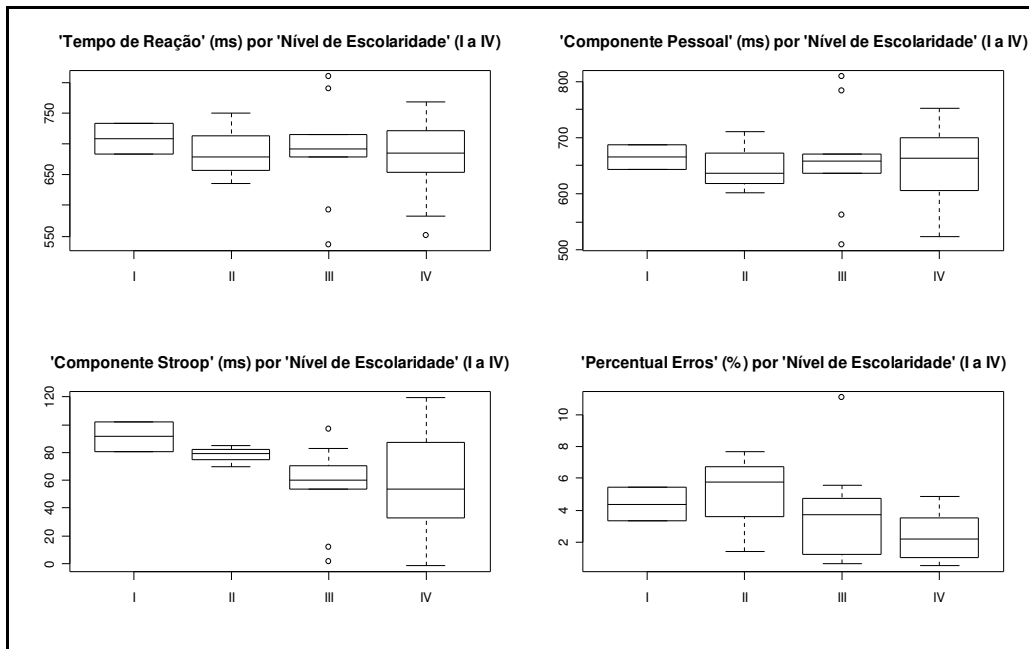


Figura 27: Box plots das variáveis comportamentais de acordo com “Escolaridade”.

Tabela 17: Correlação entre “Escolaridade” e variáveis comportamentais.

<i>Variável / Estatística</i>	<i>Estimativa</i>
Tempo de Reação	
mT~Escolaridade → R ² ajustado	-0,08
Valor-p da estatística t	0,96
T. Kendall - coeficiente T	-0,07
Valor-p	0,55
Componente Pessoal	
Cp~Escolaridade → R ² ajustado	-0,09
Valor-p da estatística t	0,98
T. Kendall - coeficiente T	0,02
Valor-p	0,87
Componente Stroop	
Cst~Escolaridade → R ² ajustado	0,009
Valor-p da estatística t	0,36
T. Kendall - coeficiente T	-0,17
Valor-p	0,13
Percentual de Erros	
T. Kendall - coeficiente T	-0,27
Valor-p	0,02

5.2. Resultados Eletrofisiológicos: os Potenciais Evocados Relacionados a Eventos (ERP).

Os blocos 2 e 3 demonstraram desempenhos estatisticamente semelhantes nas variáveis comportamentais. Os registros eletroencefalográficos relativos aos blocos 2 e 3, portanto, foram reunidos para a obtenção dos ERP por média coerente das épocas de sinal referentes às suas 240 realizações.

5.2.1. “Grand Average”: A ‘Grande Média’ entre Todas as Realizações de Todos os Voluntários.

A média coerente de todas as realizações (considerando os blocos 2 e 3) de todos os voluntários, segregadas de acordo com seu tipo de estímulo, a saber: Coincidente (em preto); e Não-Coincidente (em azul), foi efetuada para todas as derivações (figura 28).

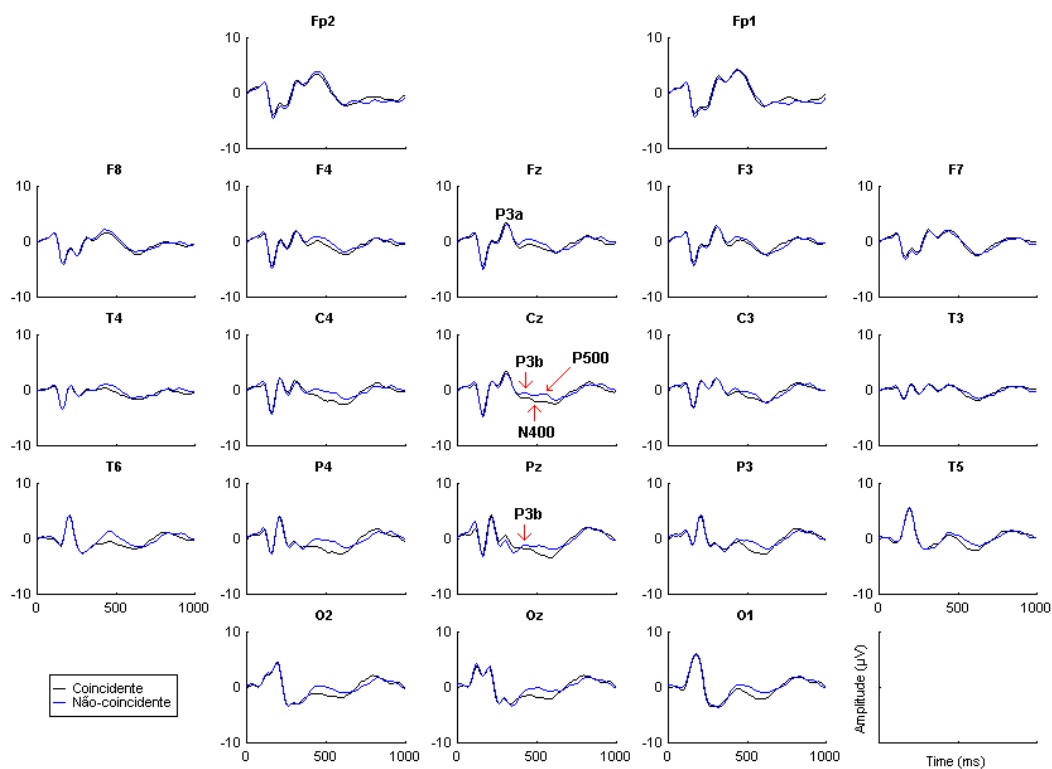


Figura 28: “Grand Average” segregado de acordo com o tipo de estímulo: traçado negro refere-se aos estímulos coincidentes e o traçado azul é relativo aos estímulos não-coincidentes. Os potenciais mais relevantes estão discriminados.

O P300 (aparentemente, seu componente P3a) mostra-se bem definido em quase todas as derivações, com exceção das temporais e occipitais laterais (T5,T6,O1,O2). Nota-se sua simetria inter-hemisférica e predominância frontal, com progressiva redução de magnitude no sentido das derivações posteriores. Considerando a segregação por tipo de estímulo, evidencia-se aparente igualdade entre latências e amplitudes (na avaliação visual) dos potenciais P300 (Coincidente e Não-Coincidente).

A diferença aparente (na avaliação visual) entre os ERP segregados por tipo de estímulo, o correlato eletrofisiológico do efeito de interferência deste paradigma, localiza-se no intervalo temporal de 375 a 670 ms. Observa-se, comparativamente, maior positividade no traçado “Não-Coincidente”, e a diferença parece dominar no hemisfério direito (lado esquerdo na figura). Nesta janela temporal, podem-se visualizar esboços dos seguintes potenciais: o componente P3b; o N400; o P500, melhor identificados nas derivações centrais (figura 27). “Negatividade” em ambos os traçados em torno da latência 600 ms (N600) também pode ser visualizada.

5.2.2. Análise do ERP P300.

As estatísticas de resumo referentes aos potenciais (P300) identificados individualmente (por voluntário), a comparação estatística entre as latências e amplitudes segregadas por tipo de estímulo, e as latências e amplitudes (P300) identificadas na ‘Grande Média’ estão discriminadas na tabela 18.

Não houve diferença estatisticamente significativa entre as médias das latências e amplitudes dos potenciais P300 segregados por tipo de estímulo (analisando as derivações sagitais), confirmando a impressão aparente na análise visual da ‘Grande Média’. Também foi confirmada a tendência de redução de magnitude do potencial no sentido posterior, sugerindo que se trata do P3a.

A consistência e correção das marcações individuais do P300 podem ser verificadas pela semelhança encontrada entre as médias das latências e as correspondentes latências da ‘Grande Média’.

Tabela 18: Latências e amplitudes dos P300 identificados nos traçados relativos a ‘Grande Média’ (‘GM’) e as médias das latências e das amplitudes dos P300 individuais (em cada voluntário). As comparações entre as médias foram realizadas pelo teste t pareado.

<i>Canal</i>	<i>Tipo de Estímulo</i>	<i>Latência (ms) “GM”</i>	<i>Latências (ms)</i>	<i>Teste t pareado Valor-p</i>
			<i>individuais Média [dp]; n = 36</i>	
Fz	Coincidente	310,0	306,39 [16,02]	0,15
	Não-Coincidente	312,5	309,59 [15,53]	
Cz	Coincidente	307,5	310,14 [16,88]	0,53
	Não-Coincidente	310,0	308,54 [16,78]	
Pz	Coincidente	300,0	305,70 [17,80]	0,1
	Não-Coincidente	300,0	310,21 [20,44]	
<i>Canal</i>	<i>Tipo de Estímulo</i>	<i>Amplitude (μV) “GM”</i>	<i>Amplitudes (μV)</i>	<i>Teste t pareado Valor-p</i>
			<i>individuais Média [dp]; n = 36</i>	
Fz	Coincidente	3,31	3,87 [6,51]	0,64
	Não-Coincidente	3,39	4,11 [6,79]	
Cz	Coincidente	2,87	3,79 [7,13]	0,35
	Não-Coincidente	2,55	3,37 [7,53]	
Pz	Coincidente	-1,85	-1,04 [12,15]	0,46
	Não-Coincidente	-3,55	-2,61 [8,00]	

5.2.3. Análise do ERP N400.

As estatísticas de resumo referentes aos potenciais (N400) identificados individualmente (por voluntário), assim como a comparação estatística entre as latências e amplitudes segregadas por tipo de estímulo, e as latências e amplitudes (N400) identificadas na ‘Grande Média’ estão discriminadas na tabela 19.

Assim como no ERP P300, não houve diferença estatisticamente significativa entre as médias das latências dos potenciais N400 segregados por tipo de estímulo. Observou-se, entretanto, que as variâncias das latências dos N400 foram significativamente maiores que as variâncias das latências dos P300 (analisando as derivações sagitais). Os valores-p das estatísticas *F* que comparam as variâncias das latências (marcações dos N400 e P300 nas derivações Fz, Cz e Pz) são inferiores a 0,0001 (mesmo segregando por tipo de estímulo). Tal variabilidade acentuada das

latências individuais se reflete na comparação com a latência N400 obtida na ‘Grande Média’.

Tabela 19: As latências dos N400 identificados nos traçados da ‘Grande Média’ (“GM”) e as médias das latências (*L*) dos N400 identificados individualmente (em cada voluntário), estão discriminadas abaixo. As comparações entre as médias referentes a cada tipo de estímulo (*Tipo Estím*) foram realizadas pelo teste t pareado (*ch* → canal). Não houve diferença significativa em nenhuma derivação.

<i>Ch</i>	<i>Tipo Estím</i>	“GM” <i>L(ms)</i>	<i>L (ms)</i> <i>Md [dp]</i>	<i>Valor p</i>
Fz	C	512,5	477,2 [45,1]	0,38
	NC	487,5	472,4 [43,2]	
Cz	C	487,5	475,2 [44,9]	0,90
	NC	465,0	476,0 [41,2]	
Pz	C	512,5	466,1 [39,7]	0,19
	NC	472,5	473,7 [40,2]	
Oz	C	495,0	464,2 [41,6]	0,39
	NC	472,5	468,5 [42,1]	
Fp2	C	495,0	478,2 [43,9]	0,29
	NC	505,0	472,8 [46,2]	
F4	C	487,5	478,0 [39,6]	0,20
	NC	480,0	471,4 [48,6]	
C4	C	487,5	471,8 [38,6]	0,40
	NC	480,0	475,6 [40,3]	
P4	C	512,5	466,6 [38,3]	0,13
	NC	472,5	474,7 [41,1]	
O2	C	487,5	467,0 [40,6]	0,19
	NC	480,0	474,5 [48,8]	
F8	C	540,0	477,4 [44,4]	0,55
	NC	500,0	482,7 [55,5]	

<i>Ch</i>	<i>Tipo Estím</i>	“GM” <i>L(ms)</i>	<i>L (ms)</i> <i>Md [dp]</i>	<i>Valor p</i>
T4	C	475,0	476,6 [40,3]	0,97
	NC	475,0	476,9 [48,1]	
T6	C	515,0	467,8 [38,4]	0,66
	NC	515,0	470,1 [46,4]	
Fp1	C	507,5	479,8 [43,8]	0,31
	NC	475,0	472,5 [47,6]	
F3	C	485,0	476,6 [43,5]	0,61
	NC	475,0	474,3 [42,1]	
C3	C	500,0	469,8 [40,5]	0,12
	NC	467,5	477,4 [39,4]	
P3	C	515,0	468,4 [42,3]	0,74
	NC	475,0	469,8 [41,8]	
O1	C	500,0	467,3 [41,6]	0,90
	NC	492,5	468,0 [48,5]	
F7	C	555,0	477,6 [44,2]	0,39
	NC	467,5	482,0 [42,6]	
T3	C	547,5	478,7 [43,2]	0,44
	NC	507,5	482,5 [40,9]	
T5	C	532,5	475,3 [42,7]	0,50
	NC	500,0	479,4 [45,9]	

Tabela 19 (continuação): As amplitudes dos N400 relativas a ‘Grande Média’ (‘GM’) e as médias das amplitudes (A) dos N400 individuais (em cada voluntário), estão discriminadas abaixo. As comparações entre as médias referentes a cada tipo de estímulo foram realizadas pelo teste t pareado (*ch* → canal).

<i>Ch</i>	<i>Tipo Estím</i>	“GM” A (μV)	Md [dp] A (μV)	Valor p	<i>Ch</i>	<i>Tipo Estím</i>	“GM” A (μV)	Md [dp] A (μV)	Valor p
Fz	C	-2,62	-5,53 [9,76]	6. 10 ⁻⁴	T4	C	-0,77	-2,37 [5,21]	0,07
	NC	-0,40	-3,12 [10,24]			NC	0,45	-1,40 [5,68]	
Cz	C	-5,56	-8,31 [8,26]	3. 10 ⁻⁴	T6	C	-3,59	-4,98 [5,91]	1,5 . 10 ⁻⁰⁵
	NC	-3,19	-5,78 [8,20]			NC	-1,36	2,11 [5,01]	
Pz	C	-9,91	-11,09 [6,19]	0,08	Fp1	C	3,61	2,22 [20,12]	0,90
	NC	-5,95	-8,72 [10,43]			NC	5,37	2,09 [22,44]	
Oz	C	-7,64	-9,11 [6,53]	4. 10 ⁻⁴	F3	C	-1,53	-4,53 [9,28]	0,02
	NC	-4,92	-6,58 [5,82]			NC	-0,45	-3,05 [10,03]	
Fp2	C	3,18	0,39 [20,06]	0,07	C3	C	-4,26	-5,85 [7,41]	0,07
	NC	3,84	2,03 [20,08]			NC	-2,57	-4,85 [7,51]	
F4	C	-2,37	-4,89 [9,12]	9,5. 10 ⁻⁰⁵	P3	C	-7,68	-8,66 [6,45]	0,002
	NC	0,05	-2,50 [9,21]			NC	-4,64	-6,66 [6,05]	
C4	C	-5,54	-7,21 [7,71]	1,9 . 10 ⁻⁰⁶	O1	C	-5,74	-6,80 [6,00]	0,01
	NC	-1,72	-4,09 [7,58]			NC	-3,27	-5,22 [5,25]	
P4	C	-7,85	-9,21 [7,28]	1,7 . 10 ⁻⁰⁶	F7	C	-1,33	-1,14 [10,5]	0,43
	NC	-3,70	-6,08 [6,61]			NC	1,36	-1,85 [11,80]	
O2	C	-6,22	-7,82 [6,85]	0,001	T3	C	-1,57	-1,62 [6,51]	0,05
	NC	-3,66	-5,54 [6,22]			NC	0,21	-2,12 [5,47]	
F8	C	-0,37	-0,83 [8,86]	0,92	T5	C	-3,96	-3,93 [5,60]	0,44
	NC	1,36	-0,74 [8,68]			NC	-1,21	-2,73 [5,12]	

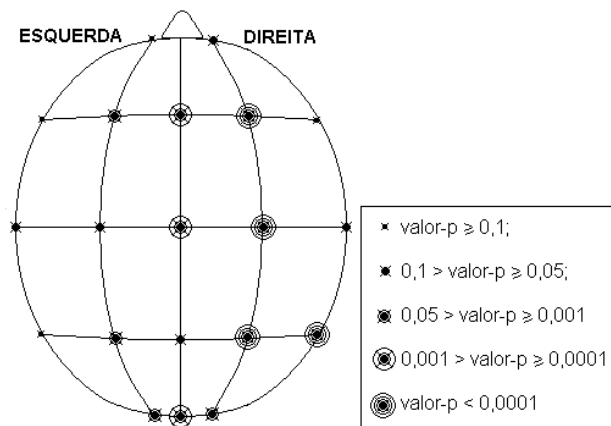


Figura 29: Mapeamento dos valores-p das diferenças entre as amplitudes (N400) individualmente identificadas (por voluntário), segregadas pelo tipo de estímulo.

As diferenças entre as médias das amplitudes individuais dos potenciais N400 segregados de acordo com o tipo de estímulo (Não-Coincidente – Coincidente) foram estatisticamente significativas em várias derivações (continuação da tabela 19). Os potenciais N400 referentes aos estímulos Não-Coincidentes foram menos negativos que os relativos aos estímulos Coincidentes, e esse fato foi mais expressivo e significativo à direita, nas derivações centro-parietais (figura 29).

5.2.4. Diferença entre as ‘Grandes Médias’ Segregadas pelo Tipo de Estímulo: “Teste t Corrido”.

Confirmando a impressão aparente na análise visual da ‘Grande Média’, o correlato eletrofisiológico do efeito de interferência (ERP Não-Coincidente – ERP Coincidente) foi mais expressivo e significativo à direita, nas derivações centro-parietais (figura 30, com limites das latências em azul). Percebem-se, nessas derivações, dois intervalos de positividade relativa (ERP Não-Coincidente – ERP Coincidente) significativas, separados por um trecho onde não há diferença significativa. Exemplificando com a derivação Pz, retornando à tabela 19, observa-se que esse trecho corresponde às latências dos potenciais N400 desta derivação, onde não foi encontrada diferença significativa entre suas amplitudes ($p > 0,08$).

Outro fenômeno eletrofisiológico encontrado, correlato do efeito de interferência, foi uma negatividade em torno de 750 ms, pouco depois do pico “N600”, em sua inflexão ascendente.

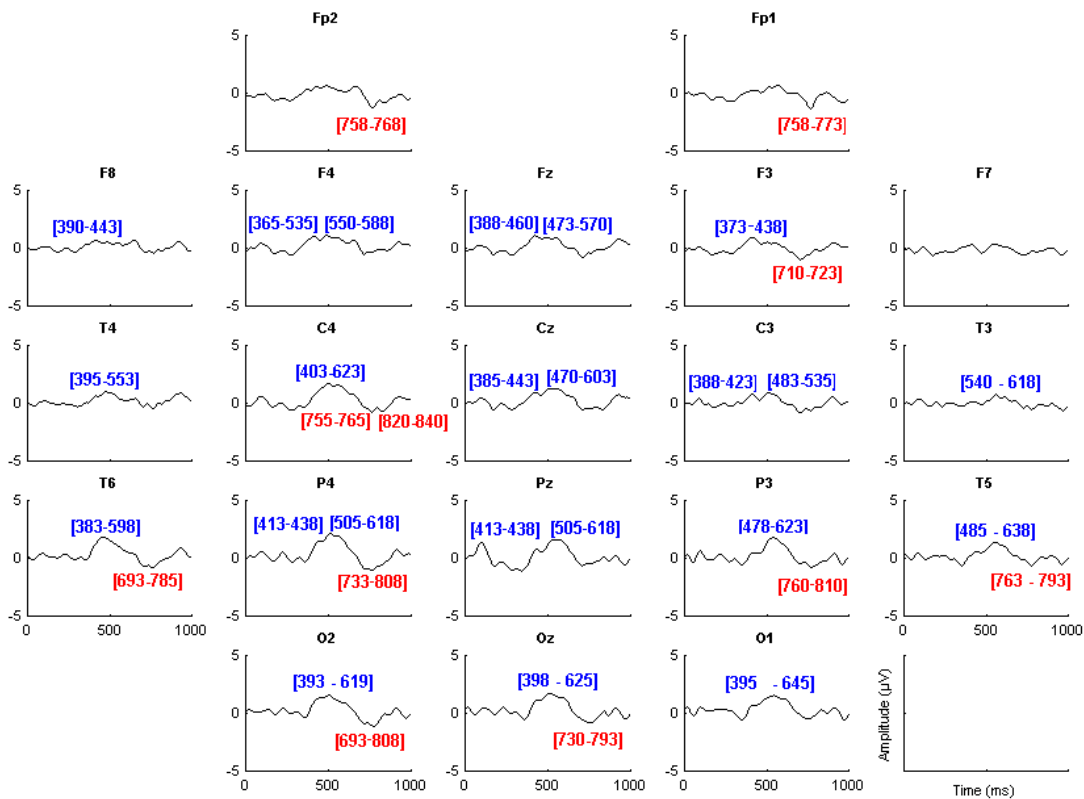


Figura 30: Diferença entre os ERP referentes aos tipos de estímulos (Não-coincidente – Coincidente). Os dados foram submetidos ao teste t “corrido” e os limites das latências onde se obtiveram diferenças significativas foram discriminados: em azul, quando o ERP Não-coincidente era significativamente mais positivo que o ERP Coincidente; em vermelho, quando o ERP Não-coincidente era significativamente mais negativo que o ERP Coincidente.

5.2.5. Análise de Correlação entre Variáveis Eletrofisiológicas.

5.2.5.1. Correlação entre Latência e Amplitude do P300

A correlação da matriz das latências com a matriz das amplitudes referentes às derivações sagitais (Fz,Cz,Pz) foi obtida pelo Teste de Kendall. As duas situações quanto ao tipo de estímulo foram analisadas (Não-coincidente, Coincidente) separadamente.

Em ambas as situações quanto ao tipo de estímulo, houve correlação negativa fraca, porém francamente significativa, ou seja, quanto menor a latência do P300, maior foi sua amplitude (figura 31 e tabela 20).

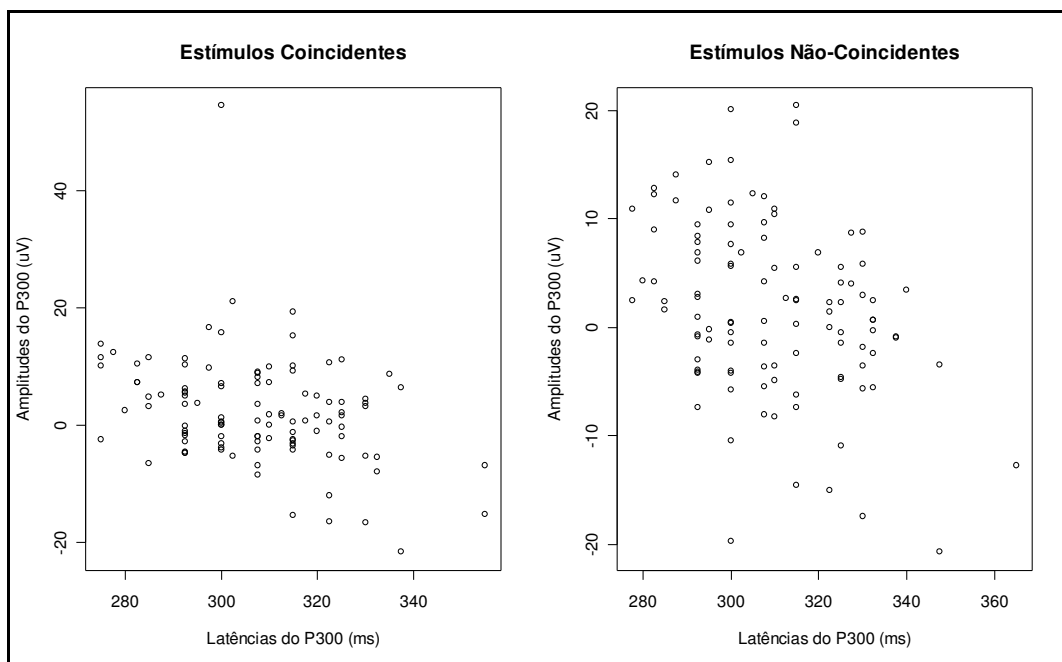


Figura 31: Gráficos de Dispersão entre as variáveis Latência e Amplitude do P300 considerando as derivações sagitais (Fz, Cz, Pz) e os tipos de estímulos (Coincidente e Não-coincidente).

Tabela 2019: Estimativa do índice de correlação *Tau* e seu respectivo valor-p, entre latência e Amplitude do P300 nas derivações sagitais: [Lat Fz, Lat Cz, Lat Pz] e [Amp Fz, Amp Cz, Amp Pz].

<i>Tipo de Estímulo</i>	<i>Estimativa do Índice Tau</i>	<i>Valor-p</i>
Coincidente	-0,204	0,0017
Não-coincidente	-0,217	0,0008

5.2.5.2. Correlação entre Latência e Amplitude do N400.

A correlação da matriz das latências com a matriz das amplitudes referentes às derivações sagitais (Fz,Cz,Pz) foi obtida pelo Teste de Kendall. As duas situações quanto ao tipo de estímulo foram analisadas (Não-coincidente, Coincidente) separadamente.

Em ambas as situações quanto ao tipo de estímulo, houve correlação positiva fraca, porém significativa, ou seja, quanto maior a latência do N400, mais positivo (ou menos negativo) foi seu pico e, portanto, menor sua amplitude (figura 32 e tabela 21).

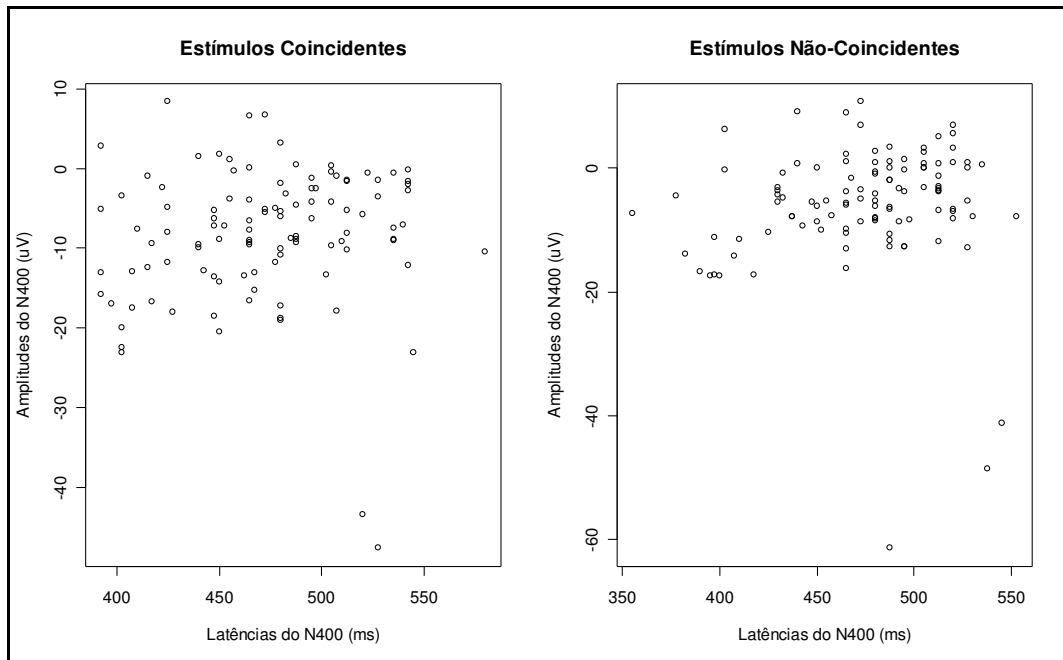


Figura 32: Gráficos de Dispersão entre as variáveis Latência e Amplitude do N400 considerando as derivações sagitais (Fz, Cz, Pz) e os tipos de estímulos (Coincidente e Não-coincidente).

Tabela 21: Estimativa do índice de correlação *Tau* e seu respectivo valor-p, entre latência e Amplitude do N400 nas derivações sagitais: [Lat Fz, Lat Cz, Lat Pz] e [Amp Fz, Amp Cz, Amp Pz].

<i>Tipo de Estímulo</i>	<i>Estimativa do Índice Tau</i>	<i>Valor-p</i>
Coincidente	0,142	0,029
Não-coincidente	0,156	0,016

5.2.6. Correlação entre Variáveis Comportamentais e Eletrofisiológicas.

Significância estatística só foi encontrada nas correlações (negativas) que associam a diferença entre as amplitudes dos potenciais segregados pelo tipo de estímulo (Amplitude Não-coincidente – Amplitude Coincidente) com duas variáveis comportamentais, a saber: Tempo de Reação; e Componente Pessoal. A significância ocorreu para ambos os potenciais – P300 e N400 (tabela 22). As demais variáveis comportamentais não se correlacionaram com qualquer outra variável eletrofisiológica.

Tabela 22: Correlações entre variáveis comportamentais e a matriz de variáveis eletrofisiológicas referentes às derivações sagitais (Fz, Cz, Pz). Amp NC = amplitude do potencial relativo aos estímulos não-coincidentes.

<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>	<i>Estimativa Tau</i>	<i>Teste Kendall Valor-p</i>
Tempo de Reação	Amp NC – Amp C (P300)	-0,205	0,002
Componente Pessoal	Amp NC – Amp C (P300)	-0,195	0,003
Tempo de Reação	Amp NC – Amp C (N400)	-0,147	0,025
Componente Pessoal	Amp NC – Amp C (N400)	-0,140	0,034

6. Discussão.

O Teste de Stroop, desde sua elaboração em 1935, vem sendo um dos paradigmas mais utilizados no estudo da consciência humana, pois documenta, consistentemente, um fenômeno cognitivo considerado como “o protótipo do processamento atento cotidiano” (MELARA; ALGOM, 2003), o “efeito de interferência” (ou “efeito Stroop”). Nesse caso, a interferência entre os componentes informativos do estímulo culmina no bloqueio da resposta considerada “automática”. Ou seja, quando ocorre a interferência, o processo de resposta mais “automático” é suprimido em favor da resposta “controlada” estabelecida pelo paradigma, alargando o tempo de reação (MACLEOD; MACDONALD, 2000). Esses Tempos de Reação aos “estímulos-Stroop” tornam-se preciosa variável comportamental a ser estudada, especialmente após a introdução da tecnologia computacional, que permite pleno controle sobre a apresentação dos estímulos e sobre o registro das respostas.

As respostas classicamente utilizadas nas diversas variações do paradigma Stroop têm sido do tipo lingüístico: independentemente da palavra-estímulo (nome de cor), o sujeito deve verbalizar o nome da matiz dos seus caracteres, ou pressionar a tecla (nas variações que exigem respostas manuais) que, especificamente, a simboliza.

A equivalência entre o método clássico e a metodologia do atual estudo pode, e deve, ser questionada. A versão aqui elaborada e adotada valer-se-ia do mesmo tipo de estímulo (o “estímulo-Stroop”), mas os tipos de respostas diferem em essência, não mais simbolizando o nome específico da cor-estímulo, e sim classificando a relação entre os seus componentes informativos, a saber: o componente vocabular e o componente cromático. Dicotomiza, portanto, as respostas, que são manuais (pressionamento de botões), em “resposta Coincidente” e “resposta Não-coincidente”, independentemente dos específicos nomes e matizes do estímulo.

Um novo conceito, então, surge: a Relação Estímulo-Resposta, que não deve ser confundida com o conceito de Compatibilidade Estímulo-Resposta, elaborado por Paul Fitts (1953 e 1954). Este se refere ao acoplamento entre o processamento perceptivo do estímulo e o processamento executivo da resposta (“[...] *um específico conjunto de codificação estímulo-resposta* [...]”). A Relação Estímulo-Resposta, por sua vez, se refere às simples possibilidades combinatórias estímulo-resposta, mas que salientam as

magnitudes das associações semânticas entre um determinado estímulo e sua respectiva resposta (quadros 5 e 6).

No método clássico, uma determinada resposta relacionar-se-ia com sete possíveis tipos de estímulo, sendo exclusivamente um Coincidente (quadro 5). Na metodologia do atual estudo, a resposta Coincidente (um específico tipo de resposta) relacionar-se-ia com sete possíveis estímulos, todos Coincidentes. E a outra resposta possível (Não-coincidente), seria evocada por 42 tipos de estímulos, todos Não-coincidentes (quadro 6). Fica explícito que a relação conceitual (semântica) entre a “resposta clássica” e o (único) “estímulo Coincidente” que a evoca é mais específica que a relação conceitual (classificatória) entre a “resposta simplificada” (do presente estudo) e os “estímulos Coincidentes” que a evocam. Dessa forma, o conflito semântico que ocorreria nos “estímulos Não-coincidentes” no método clássico, também seria de maior magnitude.

Quadro 5: Relação Estímulo-Resposta referente à metodologia clássica do teste de Stroop considerando sete cores. *Nº* significa o número total de possíveis estímulos (coincidentes [C] ou Não-coincidentes [NC]) que evocariam aquela resposta.

<i>Resposta</i>	<i>Nº</i>	<i>Tipos de Estímulo</i>
AMARELO	C→1	AMARELO
	NC→6	AZUL; BRANCO; CINZA; ROSA; VERDE; VERMELHO
AZUL	C→1	AZUL
	NC→6	AMARELO; BRANCO; CINZA; ROSA; VERDE; VERMELHO
BRANCO	C→1	BRANCO
	NC→6	AMARELO; AZUL; CINZA; ROSA; VERDE; VERMELHO
CINZA	C→1	CINZA
	NC→6	AMARELO; AZUL; BRANCO; ROSA; VERDE; VERMELHO
ROSA	C→1	ROSA
	NC→6	AMARELO; AZUL; BRANCO; CINZA; VERDE; VERMELHO
VERDE	C→1	VERDE
	NC→6	AMARELO; AZUL; BRANCO; CINZA; ROSA; VERMELHO
VERMELHO	C→1	VERMELHO
	NC→6	AMARELO; AZUL; BRANCO; CINZA; ROSA; VERMELHO

Quadro 6: Relação Estímulo-Resposta referente ao método simplificado deste estudo considerando as sete cores utilizadas. *Nº* significa o número total de possíveis estímulos que evocariam aquela resposta.

<i>Resposta</i>	<i>Nº</i>	<i>Tipos de Estímulo</i>
COINCIDENTE	7	AMARELO; AZUL; BRANCO; CINZA; ROSA; VERDE; VERMELHO; AZUL; BRANCO; CINZA; ROSA; VERDE; VERMELHO; AMARELO; BRANCO; CINZA; ROSA; VERDE; VERMELHO; AMARELO; AZUL; CINZA; ROSA; VERDE; VERMELHO;
NÃO-COINCIDENTE	42	AMARELO; AZUL; BRANCO; ROSA; VERDE; VERMELHO; AMARELO; AZUL; BRANCO; CINZA; VERDE; VERMELHO; AMARELO; AZUL; BRANCO; CINZA; ROSA; VERMELHO; AMARELO; AZUL; BRANCO; CINZA; ROSA; VERMELHO

Esse protocolo possuiria a desvantagem de não documentar o fenômeno de facilitação (que é significativamente inferior ao “efeito interferência”), pois não permite a inclusão do estímulo “neutro”, mas facilita, sobremaneira, sua aplicabilidade clínica, pois é muito mais simples. Haja vista o reduzido tempo necessário para o entendimento do protocolo (poucos minutos) experimentado por todos os voluntários, e os baixos percentuais de erros, que não ultrapassaram 15% (percentual de erros máximo foi de 11%).

Mesmo com essas modificações metodológicas, o fenômeno de interferência (efeito Stroop) foi encontrado. Foi consistente e altamente significativo (tabela 5). Sua magnitude, entretanto, foi consideravelmente pequena, quando comparada às encontradas na metodologia com respostas verbais. Esse fenômeno também ocorre com as demais versões do paradigma que adotam respostas manuais, e tem sido atribuído à “compatibilidade estímulo-resposta”, ou seja, uma maior magnitude do fenômeno de interferência na modalidade vocal de resposta do paradigma de Stroop, se comparada à resposta manual, poderia refletir a natureza da translação estímulo-resposta. O acoplamento entre o aspecto do estímulo a ser ignorado e a resposta associada pode ser considerado mais natural quando respostas vocais, em vez de manuais, são usadas: ler a palavra em voz alta é forma mais convencional e natural de expressar esta informação que pressionar um determinado botão em resposta à sua identificação. Atributos “incompatíveis” do estímulo criariam mais interferência e maior efeito Stroop quando a translação estímulo-resposta envolve modalidades mais naturais (“bem-aprendidas”) de resposta (POLICH, 1999).

A existência do significativo “efeito Stroop” em todos os voluntários submetidos às duas situações metodológicas especiais – voluntários canhotos pressionando a maniqueta direita (condição padrão) em resposta ao estímulo coincidente; e voluntários manidestros pressionando a maniqueta esquerda (condição inversa) em resposta ao estímulo coincidente – documenta a consistência poderosa desse fenômeno executivo e enfraquece possíveis argumentações favoráveis ao direcionamento dos resultados (efeito Stroop) encontrados pela influência da dominância (habilidade) manual.

Qual seria, então, o “processo automático de resposta” que direcionaria a assimetria de latências (efeito Stroop) desse método? Três possibilidades de “resposta automática” surgem *a priori*: a) a referente à mão dominante; b) a referente à mão usada na resposta anterior; c) a resposta referente à mão definida como “Coincidente”.

A primeira possibilidade é imediatamente descartada. A habilidade manual não modificou a direção da assimetria encontrada nas latências de resposta tanto nos canhotos, que responderam mais rapidamente aos estímulos Coincidentes (mão direita), quanto nos manidestros submetidos ao padrão inverso de resposta, que mantiveram este comportamento mesmo tendo que pressionar o botão da mão esquerda.

A segunda alternativa teria respaldo teórico num fenômeno clínico observado em consequência de lesões do lobo frontal. A habilidade em iniciar, parar ou alterar comportamentos em resposta a variados estímulos tem sido considerada uma “função frontal”. Pacientes portadores de lesão frontal podem manifestar “perseveração”, caracterizada por rígida aderência a um critério de resposta, ignorando as determinações do paradigma. Ou seja, haveria uma tendência natural a reproduzir a resposta imediatamente anterior, que deveria ser suplantada por critério de resposta pré-estabelecido (DAMÁSIO; ANDERSON, 1993). Essa alternativa também seria eliminada, pois a exposição semi-aleatória (50% dos estímulos foram do tipo coincidente) anularia qualquer direcionamento de assimetria motivada por possível tendência a perseverar.

Deve ficar esclarecido, entretanto, que não se está descartando a existência desses fenômenos comportamentais (dominância manual e tendência a perseverar). Eles, de fato, existem, mas não foram os responsáveis pelo direcionamento da assimetria entre as latências de respostas aos dois tipos de estímulo – o efeito de interferência encontrado. Entretanto, a influência da dominância manual sobre a magnitude da assimetria (efeito Stroop) não pôde ser aqui estimada, e mereceria um estudo com metodologia adequada e um maior número amostral nas condições

experimentais especiais, ou seja, canhotos na condição experimental padrão e manidestros na condição inversa. Quantificar objetivamente tal dominância manual também seria etapa fundamental.

Portanto, a alternativa que considera como “resposta automática” aquela referente aos estímulos Coincidentes – independente de qual mão (maniqueta) é definida como a respondedora – não possuiria argumentações contrárias. Então, na ocasião de um estímulo Não-coincidente, essa “resposta automática” deveria ser bloqueada em favor da resposta estabelecida pelo paradigma, ou seja, pressionamento da maniqueta contrária.

Assim sendo, foi elaborado um modelo teórico da resposta comportamental (o Tempo de Reação) composto por dois componentes: o “Componente Stroop” (Cst), consistindo na parcela do Tempo de Reação (TR) envolvida no fenômeno de interferência (TR Não-coincidente – TR Coincidente); e o “Componente Pessoal” (Cp), que equivale à parcela do TR que independe do efeito Stroop, ou seja, o próprio Tempo de Reação ao estímulo Coincidente.

Ambos os componentes teóricos não se correlacionaram com as variáveis Idade e Gênero, ou seja, o Cst e o Cp não diferiram entre os gêneros e não dependeram da idade do voluntário. Houve discreta tendência, apesar de não significativa, à correlação negativa entre o Componente Stroop e Nível de Escolaridade. Tal ausência de significância, provavelmente, deveu-se à grande variabilidade do Cst no Nível de Escolaridade IV (além do 3º grau completo). O desenho do atual estudo, entretanto, não visou, especificamente, tais questões e esses resultados devem ser interpretados com parcimônia.

O Percentual de Erros, considerando todas as realizações, não foi diferente entre os dois tipos de estímulo (‘% erros Coincidente’ = ‘% erros Não-coincidente’), mas houve pequena, porém significativa, correlação positiva, ao longo dos blocos, entre o Componente Stroop e o Percentual de Erros (tabela 13). Interessantemente, o Percentual de Erros não se correlacionou, ao longo dos blocos, com o Componente Pessoal, nem com o Tempo de Reação. Isso sugere que a decisão por uma alternativa de resposta equivocada (erro comportamental) relacionar-se-ia, mais especificamente, com a hesitação (responsiva) gerada pela interferência, e não com fenômenos primariamente perceptivos. O Percentual de Erros, por sua vez, correlacionou-se negativamente com o Nível de Escolaridade (NE) de forma estatisticamente significativa. Esse resultado, associado à tendência (não significativa) de correlação entre Cst e NE, sugere possível

efeito modulador do nível sócio-cultural sobre tal hesitação gerada pela interferência. Esse efeito modulador deve ser interpretado com reserva e parcimônia, haja vista os pequenos números amostrais nas categorias referentes aos menores Níveis de Escolaridade. Trata-se, somente, de uma sugestão motivadora para ser mais bem esclarecida em posteriores trabalhos com metodologia mais apropriada.

O “efeito aprendido”, ou seja, o desempenho comportamental progressivamente melhor (analisando sua evolução temporal), foi bem documentado na avaliação dos desempenhos das variáveis ‘Tempo de Reação’ e ‘Percentual de Erros’ ao longo dos blocos (tabela 8 e figura 13). Esse fenômeno não é particular a esse paradigma e ocorre em qualquer teste comportamental. Mas o “efeito aprendido” teve influências diferenciadas entre os componentes do Tempo de Reação. Enquanto o Componente Pessoal variou de forma significativa ao longo dos blocos, o mesmo não ocorreu no Componente Stroop (tabela 10 e figura 14). O Componente Stroop permaneceu estatisticamente estável ao longo dos blocos, sugerindo independência parcial dos mecanismos fisiológicos que regem esse efeito comportamental. Tal resultado pode parecer, a princípio, paradoxal, haja vista a significativa correlação positiva entre Cst e Percentual de Erros, mas deve ser salientado que esta associação combinava todos os blocos, não permitindo especificidade com relação à evolução dos blocos de estimulação.

Os dados eletrofisiológicos dos blocos 2 e 3 foram reunidos pois as variáveis avaliadoras de desempenho comportamental referentes aos dois blocos mostraram-se estatisticamente semelhantes. Tal conduta visou à redução da variabilidade intrapessoal dos ERP (estacionariedade do ERP), sabidamente suscetíveis a atenção e fadiga.

Igualmente aos relatos da literatura, o atual paradigma gerou potencial P300, que não diferiu em latência entre os tipos de estímulo, ou seja, a média inter-individual de latência-P300 referente aos estímulos Coincidentes foi estatisticamente igual à média de latência-P300 referente aos estímulos Não-coincidentes. Também não houve diferença entre as médias das amplitudes referentes aos P300 segregados pelo tipo de estímulo (tabela 18).

Tal resultado é corroborado pela avaliação aparente da ‘Grande Média’, em que todos os ERP (referentes aos 2º e 3º blocos) de todos os voluntários foram submetidos à média coerente (figura 16). O P300 nela identificado teve distribuição espacial simétrica, predominantemente sagital e fronto-central, características bem sugestivas do componente P3a. Essa distribuição também foi encontrada na análise das médias dos

potenciais individuais. O provável P3a, neste paradigma, mostrou-se o ERP com a mais estreita relação temporal e fásica com o estímulo, haja vista a nítida semelhança entre as médias das latências individuais e as latências identificadas na ‘Grande Média’. Esse fato também documenta a correção das marcações dos picos individuais do P300.

O N400, por outro lado, mostrou variabilidade interpessoal bem mais expressiva. De fato, sua identificação na ‘Grande Média’ é bem mais difícil (mais claramente visualizado nas derivações centrais). A análise das médias das latências individuais segregadas pelo tipo de estímulo também não mostrou diferença significativa, ou seja, a média das latências N400 referente ao estímulo Coincidente foi estatisticamente igual à média das latências N400 referentes aos estímulos Não-coincidentes. Entretanto, houve diferença significativa de amplitude dos N400 referentes aos dois tipos de estímulo, e isso ocorreu em diversas derivações. A média das amplitudes dos N400 referentes aos estímulos Não-Coincidentes foi menos negativa que a média das amplitudes dos N400 referentes aos estímulos Coincidentes (tabela 19).

Novamente, tal resultado pode ser inferido pela avaliação visual da ‘Grande Média’, que revelava o correlato eletrofisiológico do efeito Stroop (ERP Não-coincidente – ERP coincidente) como uma positividade relativa do traçado Não-coincidente na janela temporal entre 375 ms e 760 ms, intervalo em que se observa o vale do N400. A impressão visual foi corroborada no “teste t corrido” da diferença entre as ‘Grandes Médias’ segregadas pelo tipo de estímulo (figura 17). O teste estatístico documentou a significância do correlato eletrofisiológico do efeito Stroop como uma positividade com distribuição predominantemente à direita e nas derivações centro-parietais. Um fato interessante observado no “teste t corrido” foi a significância “bifásica” da positividade resultante, ou seja, havia, em algumas derivações (centro-parietais à direita), dois momentos de significância estatística separados por um trecho sem essa significância. Tal trecho correspondia, geralmente, à média das latências dos potenciais N400 individuais.

O correlato eletrofisiológico do efeito Stroop documentado no paradigma em questão surge em intervalo temporal semelhante aos relatos da literatura. Entretanto, diferiu no sinal resultante da diferença, sendo positiva. Liotti *et al.* (2000) registraram o correlato eletrofisiológico (64 canais de EEG) do fenômeno de interferência em oito indivíduos, considerando três modalidades de respostas, a saber: respostas verbais sonoras; respostas verbais silenciosas; e respostas manuais. A diferença dos ERP (Não-coincidente – Coincidente) revelou negatividade médio-dorsal entre 350 e 500 ms, com

pico em 410 ms. Sua distribuição no escalpe pareceu depender da modalidade de resposta, ou seja: na resposta verbalizada, pareceu ter disposição mais focal, medial e anterior; já na manual, teria distribuição mais difusa, principalmente médio-dorsal, de modo que a análise das fontes dos dipolos sugeriu dois geradores independentes no córtex do cíngulo anterior.

Markela-Lerenc *et al.* (2004) também registraram os padrões espaço-temporais dos ERP (64 canais de EEG), com análise de fontes de dipolos, de dezesseis voluntários durante teste de Stroop com respostas manuais. Estavam interessados, principalmente, na interação dinâmica entre as regiões cerebrais do córtex pré-frontal (CPF) e do córtex do cíngulo anterior (CCA). Os resultados dos ERP foram semelhantes aos obtidos por Liotti *et al.* (2000). A diferença dos ERP (não-coincidente – coincidente) revelou, primeiramente, negatividade entre 350 e 450 ms pós-estímulo, sobre as regiões fronto-centrais à esquerda. A análise de fontes de dipolos deste primeiro efeito indicou um gerador responsável, localizado no CPF. Entretanto, imediatamente após esse primeiro efeito, foi registrada positividade na região fronto-central mediana (linha média) entre 450 e 550 ms pós-estímulo. O gerador estimado deste efeito foi localizado no CCA.

No presente trabalho, analisando-se a ‘Grande Média’, tem-se a impressão de que três potenciais distintos compartilham a mesma janela temporal, a saber: o componente P3b; o N400; e o P500 (figura 16). Este último tem sido relacionado ao reconhecimento de formas e objetos. Dessa forma, esses potenciais deformariam um ao outro, proporcionalmente às suas magnitudes, dificultando a identificação de seus picos (ou vale) e aumentando suas variabilidades.

A hipótese que pode ser aqui elaborada para o não surgimento, no atual estudo, da “negatividade” da diferença entre os ERP (correlato eletrofisiológico do efeito Stroop) observada nos demais estudos consiste no próprio desenho do atual paradigma, na Relação Estímulo-Resposta e sua influência sobre a magnitude do N400. Esse potencial tem sido atribuído ao processamento lingüístico e sua amplitude é proporcional ao conflito semântico experimentado (KUTAS; VAN PETTEN, 1988). O presente teste, diferentemente do paradigma clássico, possuindo uma Relação Estímulo-Resposta menos “semântica” e mais “classificatória”, evocaria potenciais N400 de menores amplitudes (pois o “conflito semântico” seria proporcionalmente menor). Tal fenômeno acometeria não somente as respostas aos estímulos Coincidentes, mas também (e mormente) as respostas aos estímulos Não-coincidentes, pois possuem Relação Estímulo-Resposta ainda menos específica (menos semântica). Portanto, as

amplitudes de tais respostas poderiam ser sobrepujadas, na média coerente, pelos outros ERP, menos clássicos, mas que compartilham sua janela temporal (o P3b e, principalmente, o P500). Esses ERP não foram o alvo desse estudo, que visou os potenciais mais relacionados ao paradigma Stroop vigentes na literatura. Mas os atuais resultados motivarão estudos posteriores objetivando, primariamente, tais ERP e suas correlações comportamentais.

A correlação entre as variáveis confirmou achados já descritos na literatura. Houve correlação negativa fraca, porém significativa, entre a latência e a amplitude do P300. O mesmo fenômeno ocorreu com o N400 (quanto menor foi sua latência, menos negativo foi seu vale e, portanto, menor foi a amplitude de sua inflexão).

As correlações entre variáveis eletrofisiológicas e comportamentais demonstraram alguns resultados significativos quando foram consideradas as diferenças entre as amplitudes dos ERP segregados pelo tipo de estímulo (Amplitude ERP Não-coincidente – Amplitude ERP Coincidente). A significância ocorreu tanto para o P300 quanto para o N400, que se correlacionaram negativamente com o Tempo de Reação e Componente Pessoal. Quanto mais rápida foi a resposta, maior foi a diferença de amplitude nos ERP (P300 e N400) segregados por tipo de estímulo. Entretanto, o componente Stroop não se correlacionou com tal diferença de amplitudes. A relação entre a amplitude dos ERP e o Tempo de Reação não é novidade na literatura, e tem sido relacionada ao esforço atencional demandado nos paradigmas (WICKENS *et al.*, 1983), mas sua influência diferenciada entre os componentes teóricos do Tempo de Reação está sendo descrita pela primeira vez.

O Tempo de Reação representaria efeito de múltiplos “fatores”, tais como: ‘avaliação do estímulo’, ‘processamento da resposta’ e ‘execução da resposta’ (FORD, 1984). Da mesma forma que a atenção seria uma triagem perceptiva aos estímulos relevantes (avaliação do estímulo), o cérebro também é limitado em sua habilidade de preparar respostas e executá-las (processamento e execução da resposta). O processo pelo qual o cérebro seleciona ações chama-se Intenção (HEILMAN; VALENSTEIN; WATSON, 1996). É possível que as maiores diferenças de amplitudes dos P300 e N400 relacionar-se-iam com o esforço atencional (“atenção perceptiva”), que estaria contido no Componente Pessoal do Tempo de Reação. Por sua vez, o Componente Stroop relacionar-se-ia com o esforço de Intenção (“atenção executiva”) e não seria expresso por esses potenciais.

As latências dos potenciais (P300 e N400), ou suas diferenças, não se correlacionaram com qualquer variável comportamental. Segundo Ford J. (1984), “[...] qualquer tentativa de se interpretar a latência do P300 tem sido confrontada com a inconsistência entre ela e o Tempo de Reação”. A ausência de correlação entre a latência do P300 e o Tempo de Reação no paradigma de Stroop já foi documentada na literatura (ROSENFELD; SKOGSBERG, 2006), e corrobora a associação da latência desse potencial com os aspectos perceptivos da tarefa (DONCHIN, 1981; FORD, 1984).

Quanto à latência do N400, sua grande variabilidade além da pequena amplitude encontrada no vigente paradigma (tornando-o susceptível à deformação induzida por outros ERP) dificultaram quaisquer tentativas de correlação com variáveis comportamentais.

Tais constatações só aumentam a motivação à análise dos demais ERP evidenciados em resposta ao teste. Também se torna mister a avaliação das respostas eletrofisiológicas induzidas, ou seja, “não *phase-locked*” com a estimulação, para a complementação do estudo da orquestração dinâmica eletrofisiológica das regiões corticais envolvidas nesse paradigma.

7. Conclusão

O clássico Teste de Stroop documenta, há décadas, um importante fenômeno cognitivo-comportamental: o efeito de interferência. Apesar do paradigma aqui empregado também utilizar o “estímulo-Stroop”, existem diferenças estruturais que o diferenciam do método clássico, tornando-o singular. Sua simplicidade metodológica (é um paradigma “amigável”) viabiliza seu uso clínico, além de permitir fácil interface com o computador – EEG. A sua Relação Estímulo-Resposta, bem menos específica ou “semântica”, tanto no contexto Coincidente quanto (e principalmente) na situação Não-coincidente, caracteriza-se por ser dicotômica e classificatória, quiçá reduzindo o conflito semântico entre a resposta e seu respectivo estímulo. Mesmo assim, essa versão também documentou consistente efeito de interferência, cuja direção se mostrou resistente à influência da habilidade manual. O teste, de fato, documenta o efeito de interferência entre os componentes informativos do estímulo e, portanto, pode ser considerado uma variação do paradigma de Stroop.

O desempenho das variáveis comportamentais sugere que a tomada de decisão por uma opção equivocada de resposta (erro comportamental) relacionar-se-ia, mais especificamente, com uma “hesitação responsiva” gerada pela interferência, e não com fenômenos processuais primariamente perceptivos, posto que o Componente Stroop, e não o Componente Pessoal, relacionou-se com o Percentual de Erros ao longo das sessões do teste. O gênero e a idade não influenciaram significativamente o desempenho comportamental.

Assim como em outros testes comportamentais, aqui também houve “efeito aprendido”. O Tempo de Reação e o Percentual de Erros melhoraram (reduziram) ao longo dos blocos. A influência, entretanto, exercida pelo “efeito aprendido” sobre os dois componentes teóricos do Tempo de Reação – o Componente Stroop (relacionado à interferência), e o Componente Pessoal (independente da interferência) – foi diferenciada. O Componente Pessoal variou ao longo das sessões, enquanto o Componente Stroop permaneceu constante, “resistente” ao efeito aprendido.

Os parâmetros do P300 obtidos neste protocolo coincidem com os relatos da literatura. As médias das suas latências e amplitudes não diferiram entre os tipos de estímulo. A magnitude de sua amplitude variou inversamente com sua latência. Mas a disposição espacial e temporal, ou seja, seu surgimento precoce e disposição frontal,

assim como a consistência do P300 obtido tanto na Grande Média quanto nas marcações individuais sugere características do potencial P3a.

O N400 mostrou maior variabilidade quanto a sua latência, mas esta também não diferiu entre os tipos de estímulo, e sua amplitude também variou inversamente com a latência. Entretanto, houve diferença nas amplitudes entre os tipos de estímulos, o N400 Não-coincidente sendo o menos negativo.

O teste estatístico da diferença entre os ERP segregados pelo tipo de estímulo evidenciou positividade mais significativa à direita e centro-parietal. O comportamento bifásico dessa positividade, ou seja, dois segmentos temporais de positividade significativa separados por um trecho (correspondente à latência do N400) em que não houve diferença significativa, sugere que outros ERP (como o P3a e P500), associados à menor magnitude do N400 gerado pelo atual paradigma, responderiam por esse comportamento, que difere dos registrados na literatura em resposta ao paradigma clássico. Uma inferior relação semântica entre o estímulo-Stroop e a atual forma de resposta poderia ser a causa dessa diferença.

As correlações eletrofisiológicas-comportamentais não destoaram dos relatos da literatura. As latências dos ERP alvos do atual estudo não se correlacionaram com o desempenho comportamental, corroborando a impressão de que refletem a etapa processual perceptiva de avaliação do estímulo. Mas as diferenças de amplitudes, segregadas por tipo de estímulo (Não-Coincidente – Coincidente), desses potenciais (P300 e N400) correlacionaram-se com o Componente Pessoal (possível estimador da demanda atenta perceptiva), mas não se correlacionaram com o Componente Stroop (possível estimador da Intenção – atenção executiva).

Questões ainda não respondidas e que merecem estudos vindouros consistem na provável participação do componente P3b e do ERP P500 no correlato eletrofisiológico do efeito Stroop, suas possíveis correlações com o desempenho comportamental, e a análise das respostas induzidas, “não *phase-locked*” com o estímulo. Com estas questões respondidas, importantes informações a respeito do efeito de interferência seriam acrescidas, e o significado neurocomportamental desse variante paradigma ficaria mais esclarecido, permitindo sua aplicação, agora, em condições patológicas.

8. Referências

- ANDERSSON F., ETARD O., DENISE P., PETIT L. “Early visual evoked potentials are modulated by eye position in humans induced by whole body rotations”. *BMC Neuroscience* 2004 Sep; 5. 35: pp. 1-8.
- BADGAIYAN R. D., POSNER M. I. “Mapping the Cingulate Cortex in Response Selection and Monitoring”. *Neuroimage* 1998; 7: pp. 255–260.
- BASAR E., SCHÜRMAN M. “Functional aspects of evoked alpha and theta responses in humans and cats”. *Biol. Cybern.* 1994; 72: pp. 175-183.
- BAŞAR E., SCHURMANN M., BAŞAR-EROGLU C., KARACAS S. “Alpha Oscillations in Brain Functioning: pp. na Integrative Theory. *International Journal of Psychophysiology* 1997; 26: pp. 5-29.
- BAŞAR E., BAŞAR-EROGLU C., KARACAS S., SCHURMANN M. “Are cognitive processes manifested in event-related gamma, alpha, theta and delta oscillations in the EEG?”. *Neuroscience Letters* 1999; 259: pp. 165–168.
- BAŞAR E., BAŞAR-EROGLU C., KARACAS S., SCHURMANN M. “Gamma, alpha, delta, and theta oscillations govern cognitive processes”. *International Journal of Psychophysiology* 2001; 39: pp. 241-248
- BAUER M., OOSTENVELD R., PEETERS M., PASCAL FRIES P. “Tactile Spatial Attention Enhances Gamma-Band Activity in Somatosensory Cortex and Reduces Low-Frequency Activity in Parieto-Occipital Áreas”. *The Journal of Neuroscience* 2006 Jan; 26(2): pp.490 –501.
- BERGER H. “Über das Elektroenzephalogramm des Menschen. Sechste Mitteilung”. *Arch Psychiatr Nervenkr* 1933; 99: pp. 555–574.
- BERTRAND O., TALLON-BAUDRY C. “Oscillatory gamma activity in humans: a possible role for object representation”. *International Journal of Psychophysiology* 2000 Jun; 38: pp. 211-223.
- BIBBIG A., TRAUB R. D., WHITTINGTON M. A. “Long-Range Synchronization of γ and β Oscillations and the Plasticity of Excitatory and Inhibitory Synapses: A Network Model”. *J. Neurophysiol* 2002 Oct; 88: pp.1634-1654.

- BOTTGER D., HERRMANN C. S., VON CRAMON D. Y. “Amplitude differences of evoked alpha and gamma oscillations in two different age groups”. *International Journal of Psychophysiology* 2002 Feb; 45: pp. 245–251.
- BRANDT M. E. “Visual and auditory evoked phase resetting of the alpha EEG”. *International Journal of Psychophysiology* 1997; 26: pp. 285-298.
- BRAZIS P. W., MASDEU J. C., BILLER J. “The Localization of Lesions Causing Coma”. In: BRAZIS P. W., MASDEU J. C., BILLER J.(eds). *Localization in Clinical Neurology* 5 ed, chapter 22, New York, Lippincott Williams & Wilkins. 2007.
- BAUER M., OOSTENVELD R., PEETERS M., PASCAL FRIES P. “Tactile Spatial Attention Enhances Gamma-Band Activity in Somatosensory Cortex and Reduces Low-Frequency Activity in Parieto-Occipital Áreas”. *The Journal of Neuroscience*, 2006 Jan; 26(2): pp.490 –501.
- BROSCH M., BUDINGER E., SCHEICH H. “Stimulus-Related Gamma Oscillations in Primate Auditory Cortex”. *J. Neurophysiol* 2002 Jun;87: pp. 2715-2725.
- BUSCH N. A., DEBENER S., KRANCZIOCH C., ENGEL A. K., HERRMANN C. S. “Size matters: effects of stimulus size, duration and eccentricity on the visual gamma-band response”. *Clinical Neurophysiology* 2004 Apr; 115: pp. 1810-1820.
- CARTER C. S., MACDONALD A. M., BOTVINICK M., ROSS L. L., STENGER V., NOLL D., COHEN J. D. “Parsing Executive Processes: Strategic Vs. Evaluative Functions Of The Anterior Cingulate Córtext”. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2000 Feb; 97(4): pp. 1944-1948.
- COHEN J. D., DUNBAR K., MCCLELLAND J. L. “On the Control of Automatic Processes: A. Parallel Distributed Processing Account of the Stroop Effect”. *Psychological Review* 1990; 97(33): pp. 332-361.
- CURIO G., MACKERT B. -M., BURGHOFF M. *et al.* “Somatotopic source arrangement of 600Hz oscillatory magnetic fields at the human primary somatosensory hand cortex”. *Neurosci. Lett* 1997; 234: pp. 131-134.

- DA SILVA F. L. “Event-Related Potentials: Methodology and Quantification”. In: NIEDERMAYER E., DA SILVA F. L. (eds) *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields* (5ed). 2005 Lippincott Williams & Wilkins.
- DAMASIO A. R., ANDERSON S. W. “The Frontal Lobes”. In: HEILMAN, VALENSTEIN (eds) *Clinical Neuropsychology* (3ed), chapter 12, Oxford 1993.
- DELACOUR J. “Neurobiology of consciousness: An Overview”. *Behavioral Brain Research* 1997; 85: pp. 127-141.
- DOESBURG S. M., ALEXA B. ROGGEVEEN A. B., KEIICHI KITAJO K., WARD L. M. “Large-Scale Gamma-Band Phase Synchronization and Selective Attention”. *Cerebral Cortex* 2007 Jun: pp. 1-11.
- DUNCAN J., OWEN A. M. “Common Regions of the Human Frontal Lobe Recruited by Diverse Cognitive Demands”. *Trends Neurosci* 2000; 23: pp. 475-483.
- DRONKERS N. F., PINKER S., DAMASIO A. “Language and the Aphasias”. In: KANDEL E. R., SCHWARTZ J. H., JESSELL T. M. (eds), *Principles of Neural Science* 4 ed., chapter 59, New York, McGraw-Hill, 2000.
- ENGEL A. K., SINGER W. “Temporal binding and the neural correlates of sensory awareness”. *Trends in Cognitive Sciences* 2001 Jan;5 (1): pp.16-25.
- ERGENOGLU T., DEMIRALP T., BAYRAKTAROGLU Z. *et al.* “Alpha rhythm of the EEG modulates visual detection performance in humans”. *Cognitive Brain Research* 2004 May; 20: pp. 376–383.
- FARAH M. J., FEIMBERG T. E. “Perception and Awareness”. In: FARAH M. J., FEIMBERG T. E. (eds), *Behavioral Neurology and Neuropsychology*. McGraw-Hill 1997.
- FELLEMAN D. J., VAN ESSEN D. C. “Distributed Hierarchical Processing in the Primate Cerebral Cortex”. *Cerebral Cortex* 1991 Jan/Feb; 1: pp. 1-47.
- FITTS P. M., DEININGER R. L. “S.-R. compatibility: correspondence among paired elements within stimulus and response codes”. *J. Exp Psychol.* 1954 Dec;48(6): pp. 483-92.

- FITTS P. M., SEEGER C. M. “S.-R. compatibility: spatial characteristics of stimulus and response codes”. *J. Exp Psychol.* 1953 Sep; 46(3): pp. 199-210.
- FORD J. “The ERP and Decision and Memory Process: Stimulus Evaluation Time and P300”. In: DONCHIN E. *Cognitive Psychophysiology: Event-Related Potentials and the Study of Cognition. The Carmel Conferences*, 1984 Vol 1. Califórnia, Lawrence Erlbaum Associates.
- FRIES P., ROELFSEMA P. R., ENGEL A. K., KÖNIG P., SINGER W. “Synchronization of oscillatory responses in visual cortex correlates with perception in interocular rivalry”. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 1997 Nov; 94: pp. 12699–12704.
- GALAMBOS R., MAKE S., TALMACHOFF P. J. “A. 40-Hz auditory potential recorded from the human scalp”. *Proc. Nati. Acad. Sci.* 1981 Apr; 78(4): pp. 2643-2647.
- GALAMBOS R. In: “Induced Rhythms in the Brain”. Ed: Basar E., Bullock T. H. 1992; pp. 201-216. Birkhauser.
- GILAD O., SWENNW C. A., DAVRATH L. R., AKSELROS S. “Phase-averaged characterization of respiratory sinus arrhythmia pattern”. *Am J. Physiol Heart Circ Physiol* 288: pp. H504–H510, 2005.
- GÓMEZ C. M., VAQUERO E., LÓPEZ-MENDOZA D., GONZÁLEZ-ROSA J., VÁZQUEZ-MARRUFO M. “Reduction of EEG power during expectancy periods in humans”. *Acta Neurobiol Exp* 2004; 64: pp. 143-151.
- GRUBER W. R., KLIMESCH W., SAUSENG P., DOPPELMAYR M. “Alpha Phase Synchronization Predicts P1 and N1 Latency and Amplitude Size”. *Cerebral Cortex* 2005 Apr; 15: pp.371-377.
- GURTUBAYA I. G., ALEGREA M., LABARGAB A., MALANDAB A., IRIARTEA J., ARTIEDA J. “Gamma band activity in an auditory oddball paradigm studied with the wavelet transform”. *Clinical Neurophysiology* 2001; 112: pp. 1219-1228.
- HEILMAN K. M., VELENSTEIN E., WATSON R. T. “Disorders of Attention”. In: TRIMBLE M. R., CUMMINGS J. L. (eds). *Contemporary Behavioral Neurology*. Butterworth-Heinemann, 1996.

- HERRMANN C. S., KNIGHT R. T. “Mechanism of Human Attention: event-related potentials and oscillations”. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 2001; 25: pp. 465-476.
- HERRMANN C. S., MECKLINGER A., PFEIFER E. “Gamma responses and ERPs in a visual classification task”. *Clinical Neurophysiology* 1999; 110: pp. 636-642.
- HERRMANN C. S., MECKLINGER A. “Gamma activity in human EEG is related to highspeed memory comparisons during object selective attention”. *VISUAL COGNITION* 2001; 8 (3/4/5): pp. 593–608.
- HERRMANN C. S., MUNK M. H. J., ENGEL A. K. “Cognitive functions of gamma-band activity: memory match and utilization”. *Trends in Cognitive Sciences* 2004 Aug; 8 (8): pp. 347-355.
- HERRMANN C. S., SENKOWSKI D., RÖTTGER S. “Phase-Locking and Amplitude Modulations of EEG Alpha: pp. Two Measures Reflect Different Cognitive Processes in a Working Memory Task”. *Experimental Psychology* 2004; 51(4): pp. 311-318.
- ILAN A. B., POLICH I. J. “P300 and response time from a manual Stroop task”. *Clinical Neurophysiology* 1999, 110: pp. 367-373.
- JOKEIT H., MAKEIG S. “Different event-related patterns of γ -band power in brain waves of fast- and slow-reacting subjects” *Proc. Natl. Acad. Sci.* 1994 Jul;91: pp. 6339-6343.
- JOLIOT M., RIBARY U., LLINAS R. “Human oscillatory brain activity near 40 Hz coexists with cognitive temporal binding”. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 1994; 91: pp. 11748-11751.
- KIRSCHFELD K. “The physical basis of alpha waves in the electroencephalogram and the origin of the “Berger effect””. *Biol. Cybern.* 2005: pp.1-9.
- KLIMESCH W., DOPPELMAYR M., RÖHM D., PÖLLHUBER D., STADLER. “Simultaneous desynchronization and synchronization of different alpha responses in the human electroencephalograph: neglected paradox?”. *Neuroscience Letters* 2000; 284: pp. 97-100.

- KLIMESCH W. “EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: pp. a review and analysis”. *Brain Research Reviews* 1999; 29: pp. 169-195.
- KLIMESCH W. RUSSEGGER H. DOPPELMAYR M. PACHINGER T. “A. method for the calculation of induced band power: implications for the significance of brain oscillations”. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* 1998; 108: pp. 123-130.
- KONIG P., ENGEL A. K., SINGER W. “Relation between oscillatory activity and long-range synchronization in cat visual cortex”. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 1995 Jan; 92: pp. 290-294.
- KOPPEL N., ERMENTROUT G. B., WHITTINGTON M. A., TRAUB R. B. “Gamma rhythms and beta rhythms have different synchronization properties”. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2000 Feb; 97(4): pp. 1867–1872.
- KUTAS M., HILLYARD S. A. "Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity". *Science* 1980, 207: pp. 203—205.
- KUTAS M., VAN PETTEN C., BESSON M. “Event-Related Potential Asymmetries During The Reading Of Sentences”. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1988 Mar;69(3): pp. 218-33.
- LENT R. “A Consciência Regulada: Os Níveis de Consciência e os seus Mecanismos de Controle. O. Ciclo Vigília-Sono e Outros Ritmos Biológicos”. In: pp. “Cem Bilhões de Neurônios: pp. Conceitos Fundamentais de Neurociência”; Lent R.. Atheneu. 2001; 16: pp. 518-552.
- LIOTTI M., WOLDORFF M. G., PEREZ III R., MAYBERG H. S. “An ERP study of the temporal course of the Stroop color-word interference effect”. *Neuropsychologia* 2000, 38: pp. 701-711.
- LIU X., QI H., WANG S., WAN M. “Wavelet-based estimation of EEG coherence during Chinese Stroop task”. *Computers in Biology and Medicine* 2006, 36: pp. 1303–1315
- LLINÁS R., RIBARY U. “Coherent 40-Hz oscillation characterizes dream state in humans”. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 1993 Mar; 90: pp. 2078-2081.
- LUCK S. J., WOODMAN G. F., VOGEL E. K. “Event-related potential studies of attention”. *Trends in Cognitive Sciences* 2000 Nov; 4(11): pp. 432-440.

- MACLEOD C. M. “Half a Century of Research on the Stroop Effect: An Integrative Review”. *Psychological Bulletin* 1991; 109,(2): pp. 163-203.
- MACLEOD C. M., MACDONALD P. A. “Interdimensional interference in the Stroop effect: pp. uncovering the cognitive and neural anatomy of attention”. *Trends in Cognitive Sciences* 2000, 4(10): pp. 383-391.
- MARKELA-LERENC J., ILLE N., KAISER S., FIEDLER P., MUNDT C., WEISBROD M. “Prefrontal-cingulate activation during executive control: which comes first?”. *Cognitive Brain Research* 2004; 18: pp. 278–287.
- MELARA R., ALGOM D. “Driven by Information: A Tectonic Theory of Stroop Effects”. *Psychological Review* 2003; 110(3): pp. 422-471.
- MESULAM M. -M. “From Sensation to Cognition”. *Brain* 1998; 121: pp. 1013-1052.
- MIMA T., OLUWATIMILEHIN T., HIRAOKA T., HALLETT M. “Transient Interhemispheric Neuronal Synchrony Correlates with Object Recognition”. *The Journal of Neuroscience* 2001 Jun; 21(11): pp.3942–3948.
- MISULIS K. E. “General Methods of Stimulation and Recording”, .In: *Spehlmann's Evoked Potential Primer: Visual, Auditory and Somatosensory Evoked Potentials in Clinical Diagnosis*, 1994; 2 ed, chapter 2, Boston, Butterworth-Heinemann.
- NORDAHL T. E., CARTER C. S., SALO R. E. “Anterior Cingulate Metabolism Correlates with Stroop Errors in Paranoid Schizophrenia Patients”. *Neuropsychopharmacology* 2001,25(1): pp. 139-148.
- OKEN B. S., 1997, “Endogenous Event-Related Potentials”. In: CHIAPPA, K. H. (ed), *Evoked Potentials in Clinical Medicine*, 2 ed., chapter 8, New York, USA, Raven Press.
- OLDFIELD, R.C. “The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory”. *Neuropsychologia*. 1971; 9(1): pp. 97-113.
- PANTEV C., MAKEIG S., HOKE M., GALAMBOS R., HAMPSON S., GALLEN C. “Human auditory evoked gamma-band magnetic fields”. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 1991;88: pp. 8996-9000.

- PANTEV C., ROBERTS L. E., ELBERT T., ROß B., WIENBRUCH C. “Tonotopic Organization of the Sources of Human Auditory Steady-State Responses”. *Hearing Research* 1996; 101: pp. 62-74.
- PARDO J. V., PARDO P. J., JANER K. W., RAICHLE M. E. “Scalp electrical potentials reflect regional cerebral blood flow responses during processing of written words”. *Proc. Natl. Acad. Sci.*1990,87: pp. 256-259.
- PFURTSCHELLER G., LOPES DA SILVA F. H. “Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles”. *Clinical Neurophysiology* 1999;110: pp. 1842-1857.
- PFURTSCHELLER G. “Event-related synchronization (ERS): an electrophysiological correlate of cortical areas at rest”. *Electroenceph clin Neurophysiol* 1992;83: pp.62-69.
- POSNER J. B., SAPER C. B., SCHIFF N. D., PLUM F. (eds) *Plum and Posner’s Diagnosis of Stupor and Coma* (4 ed). New York, Oxford University Press, 2007.
- REBAI M., BERNARD C., LANNOU J. “The Stroop’s Test Evokes a Negative Brain Potential, the N400”. *Int j Neurosci* 1997 sep; 91(1-2): pp. 85-94.
- RECHTSCHAFFEN A., SIEGEL J. “Sleep and Dreaming”. In: Kandel E. R., Schwartz J. H., Jessel T. M.(eds) “*Principles of Neural Science*”, 4° Ed, chapter 47, McGraw-Hill, 2000.
- REGAN D., SPEKREIJSE H. “Evoked potentials in vision research”. *Vis.Res.* 1986; 36: pp.1461-1480.
- ROSENFELD J. P., SKOGSBERG K. R. “P300-based Stroop study with low probability and target Stroop oddballs: The evidence still favors the response selection hypothesis”. *International Journal of Psychophysiology* 2006,60: pp. 240–250.
- SANNITA W. G., BANDINI F., BEELKE M., DE CARLI F., CAROZZO S., GESINO D., MAZZELLA L., OGLIASTRO C., NARICI L. “Time dynamics of stimulus- and event-related gamma band activity: contrast-VEPs and the visual P300 in man”. *Clinical Neurophysiology* 2001; 112: pp. 2241–2249.
- SAYERS B., MC A., BEAYLEY H. A., HENSHALL W. R. “The mechanism of auditory evoked EEG responses”. *Nature* 1974;247: pp.481-483.

- SCHACK B., CHEN A. C. N., MESCHA S., WITTE H. “Instantaneous EEG coherence analysis during the Stroop task”. *Clinical Neurophysiology* 1999, 110: pp. 1410-1426.
- SHEER, D.E. “Sensory and cognitive 40-Hz event-related potentials: behavioral correlates, brain function, and clinical application”. In: Basar, E., Bullock, T.H. (eds.), *Brain Dynamics 2*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 1989; pp.339-374.
- SIEGEL M., KÖNIG P. “A Functional Gamma-Band Defined by Stimulus-Dependent Synchronization in Area 18 of Awake Behaving Cats”. *The Journal of Neuroscience* 2003 May; 23(10): pp.4251– 4260.
- SINGER W. “Synchronization, binding and expectancy”. *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks* Second edition, (M.A. Arbib, Ed.), Cambridge, MA: pp. The MIT Press, 2003, pp. 1136-1143.
- SINKKONEN J., TITINEN H., NÄÄTÄNEN R. “Gabor filters: an informative way for analysing event-related brain activity”. *J. Neurosci. Methods* 1995; 56: pp. 99-104.
- SNYDER A. Z., ABDULLAEV Y. G., POSNER M. I., RAICHLE M. E. “Scalp electrical potentials reflect regional cerebral blood flow responses during processing of written words”. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 1995, 92: pp. 1689-1693.
- STROOP, J. R. “Factors affecting speed in serial verbal reactions”. *Psychological Monographs* 1938; 50: pp. 38-48.
- STROOP, J. R. “Studies of interference in serial verbal reactions.”. *Journal of Experimental Psychology* 1935; 18: pp. 643-662.
- STRUBER D., HERRMANN C. H. “MEG alpha activity decrease reflects destabilization of multistable percepts”. *Cognitive Brain Research* 2002;14: pp. 370–382.
- TALLON-BAUDRY C., BERTRAND O., DELPUECH C., PERNIER J. “Stimulus Specificity of Phase-Locked and Non-Phase-Locked 40 Hz Visual Responses in Human”. *The Journal of Neuroscience* 1996 Jul; 16(13): pp.4240–4249.
- TALLON-BAUDRY C., BERTRAND O., FISCHER C. “Oscillatory Synchrony between Human Extrastriate Areas during Visual Short-Term Memory Maintenance”. *The Journal of Neuroscience*, 2001; 21: pp.1-5.

- TALLON-BAUDRY C., BERTRAND O., DELPUECH C., PERNIER J. "Oscillatory gamma-band (30–70 Hz) activity induced by a visual search task in humans". *J. Neurosci* 1997; 17: pp. 722–734.
- TALLON-BAUDRY C. "Oscillatory synchrony and human visual cognition". *Journal of Physiology* 2003; Paris 97: pp.355–363.
- TIITINEN H., SINKKONEN J., REINIKAINEN K., ALHO K., LAVIKAINEN J., NAATANEN R. "Selective attention enhances the auditory 40-Hz transient response in humans". *Nature* 1993; 364: pp. 59-60.
- VEIGA H., DESLANDES A., CAGY M., MCDOWELL K., POMPEU F., PIEDADE R., RIBEIRO P. "Visual Event-Related Potential (P300): A normative study" *Arq Neuropsiquiatr* 2004;62(3-A.): pp.575-581.
- VIJN P. C. M., VAN DIJK B. W., SPEKREIJSE H. "Visual stimulation reduced EEG activity in man". *Brain Res* 1991;550: pp.49-53.
- VON STEIN A., CHIANG C., KÖNIG P. "Top-down processing mediated by interareal synchronization". *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2000 Dec; 97(26): pp.14748-14753.
- WARD L. M. "Synchronous neural oscillations and cognitive processes". *Trends in Cognitive Sciences* 2003 Dec; 7(12): pp. 553-559.
- WATANABE N., HIRAI N., MAEHARA T. *et al.* "The relationship between the visually evoked P300 event-related potential and gamma band oscillation in the human medial and basal temporal lobes: An electrocorticographic study". *Neuroscience Research* 2002; 44: pp. 421- 427.
- WICKENS C., KRAMER A. VANASSE L. DONCHIN E. "Performance of concurrent tasks: a psychophysiological analysis of the reciprocity of information-processing resources" *Science* 1983; 221: pp.1080-1082.