

ANAELLI APARECIDA NOGUEIRA CAMPOS

**“EFEITO DA EMOÇÃO NO
PLANEJAMENTO DE AÇÕES”**

TESE SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO DE JANEIRO COMO PARTE DO PROCESSO PARA
OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS

Orientação: Prof.^a Cláudia Domingues Vargas



Universidade Federal do Rio de Janeiro

Centro de Ciências da Saúde

Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho

2012

Anaelli Aparecida Nogueira Campos

**“EFEITO DA EMOÇÃO NO PLANEJAMENTO
DE AÇÕES”**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Fisiologia), Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientação: Prof.^a Cláudia Domingues Vargas

Rio de Janeiro

2012

Campos, Anaelli Aparecida Nogueira
Efeito da Emoção no Planejamento de Ações / Anaelli Aparecida Nogueira
Campos. Rio de Janeiro: UFRJ – IBCCF 2012.
165 f.: Il.; 30 cm
Orientadora: Cláudia Domingues Vargas

Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro – Instituto de
Biofísica Carlos Chagas Filho, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas
(Fisiologia), 2012.

Referências Bibliográficas: f. 84-95.

1. Emoção. 2. Sistema Motor. 3. Excitabilidade córtico-espinhal. – Teses. I. Vargas, Cláudia Domingues (Orient.). II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho. Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Fisiologia). III. Efeito da Emoção no Planejamento de Ações.

“EFEITO DA EMOÇÃO NO PLANEJAMENTO DE AÇÕES”

ANAELLI APARECIDA NOGUEIRA CAMPOS

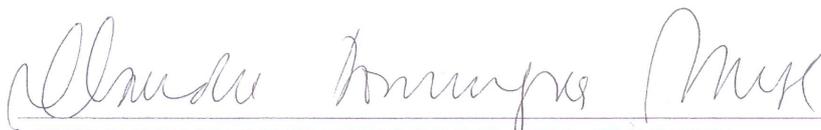
TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
VISANDO A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS.

APROVADA POR:

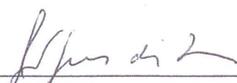
RIO DE JANEIRO, 28 DE AGOSTO DE 2012.



PROF^a. CARMEN CABANELAS PAZOS DE MOURA (DOUTOR - UFRJ)
Coordenadora do Curso de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Fisiologia)



PROF^a. CLAUDIA DOMINGUES VARGAS (DOUTOR - UFRJ) - ORIENTADORA



PROF. JOÃO GUEDES DA FRANCA (DOUTOR - UFRJ) - REVISOR



PROF. ANDRÉ FRAZÃO HELENE (DOUTOR - USP)



PROF. DRÁULIO BARROS DE ARAÚJO (DOUTOR - UFRN)



PROF^a. MIRTES GARCIA PEREIRA FORTES (DOUTOR - UFF)

**A minha família,
por tornar tudo muito mais significativo.**

AGRADECIMENTOS

A Antonio Campos e Terezinha Eliete Campos, pela compreensão, amor e apoio incondicional. Vocês são muito especiais!

A Antonielli Campos e Anderson Campos pela amizade e ajuda constante durante todos os momentos, em especial durante as dificuldades que se fizeram presente ao longo dessa jornada.

A Marly Nogueira, pelo apoio integral durante minha estada no Rio de Janeiro, pelo carinho e por torcer tanto por mim.

A Marcelo Sales por tudo. Por além de respeitar, apoiar e participar das minhas escolhas. Te amo!

A Prof.^a Cláudia Vargas pela orientação e amizade. Agradeço pela oportunidade de desenvolver esse trabalho, por tudo que me ensinou e toda a atenção durante as etapas do trabalho. Agradeço ainda a compreensão, quando mesmo com o avançar do doutorado, eu começava a desbravar um novo projeto e uma nova abordagem experimental.

A Laura Oliveira por tudo que fizemos e aprendemos juntas. Agradeço pela forma que me integrou a sua equipe de trabalho e por toda a ajuda ao longo de todas as etapas de desenvolvimento desse estudo. Uma grande amiga!

A Paula Esteves pela contribuição durante a realização dos experimentos.

Ao Prof. João Guedes da Franca, por ter aberto para mim as portas do Laboratório de Neurobiologia II, pelos ensinamentos e por toda a compreensão durante esses anos. Agradeço a atenção e a cuidadosa revisão dessa tese.

Ao amigo Ruben Navarrette pela amizade e apoio. Agradeço ainda pela ajuda nos momentos mais difíceis e cruciais que compartilhamos durante esses anos.

Ao amigo Ghislain Sanier pelas eternas discussões sobre controle motor, com as quais tanto aprendi.

A José Magalhães e Magno Cadengue por todo apoio técnico e por estar sempre disponível para ajudar e ensinar.

À todos amigos do Laboratório de Neurobiologia II pela amizade e por proporcionarem um ambiente de trabalho tão maravilhoso. Obrigada por todas as discussões científicas e não científicas e pela oportunidade de aprender com vocês.

A todos do Departamento de Fisiologia da Universidade Federal de Juiz de Fora, pela compreensão e apoio para a realização dessa tese de doutorado.

Agradeço as pessoas que participaram desse experimento como voluntários, sem os quais o trabalho não seria possível.

Agradeço também a todos aqueles que mesmo sem saber contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho e aos amigos de longe que sempre torceram por mim.

Muito obrigada!

RESUMO

CAMPOS, Anaelli Aparecida Nogueira. **Efeito da Emoção no Planejamento de Ações**. Rio de Janeiro, 2012.

Resumo de Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Fisiologia), Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas (Fisiologia).

O objetivo desse estudo foi investigar por meio da estimulação magnética transcraniana (EMT), se a excitabilidade córtico-espinal durante a preparação motora é afetada pela valência emocional de um estímulo com o qual se irá interagir. Além disso, avaliamos se o efeito da modulação emocional sobre a excitabilidade córtico-espinal era específica para o músculo diretamente envolvido na tarefa. Dez participantes foram orientados a realizar uma tarefa que incluía duas condições: mover (condição AÇÃO) ou observar (condição NÃO-AÇÃO) objetos com diferentes valências (agradável, neutro e desagradável). A ordem de apresentação das condições e das valências foi aleatória, compreendendo quatro blocos, sendo dois de cada condição. O peso de todos os objetos foi contrabalançado e apresentado dentro de copos transparentes a fim de uniformizar o tipo de preensão manual que os participantes teriam que utilizar para segurá-los. O início de cada tentativa foi marcado pela apresentação do estímulo. Dado a apresentação de cada estímulo, 3s depois um sinal resposta acendia, indicando que o participante deveria mover ou apenas observar, dependendo da condição experimental. O pulso de EMT foi aplicado sobre o córtex motor primário em 500 ou 250 ms antes do sinal resposta, de forma aleatória. O potencial evocado motor (PEM) foi medido através do registro do sinal eletromiográfico dos músculos: primeiro interósseo dorsal (PID) e abductor do dedo mínimo (ADM). Uma ANOVA para medidas repetidas de três fatores foi utilizada para avaliar o efeito da emoção em cada um dos músculos. Na condição AÇÃO, a ANOVA revelou uma interação condição \times valência ($p = 0,003$) para o músculo PID. A amplitude do PEM foi maior para a categoria desagradável, quando comparado com a neutra e agradável. Além disso, a amplitude do PEM para a categoria agradável foi menor do que a neutra. Não houve efeito significativo da valência na condição NÃO-AÇÃO. Um efeito de valência entre as condições também foi encontrado. A amplitude do PEM para a categoria desagradável foi maior na condição AÇÃO do que na NÃO-AÇÃO. O contrário ocorreu para a categoria agradável, onde a amplitude do PEM foi menor na condição AÇÃO, quando comparado com a NÃO-AÇÃO. Para o ADM, não houve efeito significativo entre as categorias emocionais nem entre as condições ($p = 0,76$). Concluímos que a atividade preparatória que antecede a preensão de um estímulo, medida pela excitabilidade córtico-espinal, é afetada por seu valor emocional. A modulação emocional sobre a excitabilidade é músculo-específica.

Palavras-chave: estimulação magnética transcraniana, valência, preparação motora, potencial evocado motor.

Rio de Janeiro,

Agosto de 2012.

ABSTRACT

CAMPOS, Anaelli Aparecida Nogueira. **Efeito da Emoção no Planejamento de Ações**. Rio de Janeiro, 2012.

Resumo de Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Fisiologia), Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para à obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas (Fisiologia).

The aim of this study was to examine by means of Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) if the corticospinal excitability (CSE) is affected by the emotional valence of the stimulus which with one is about to grab. We also examined if effect of emotional modulation upon CSE is specific to the muscle directly enrolled in the task. Ten participants were instructed to perform a task with two experimental conditions: to grasp (ACTION condition) or just to look (NO-ACTION condition) at objects with different valences (pleasant, neutral and unpleasant). Conditions and valence order were randomly presented within four blocks. Objects were balanced in weight and placed inside transparent cups to prompt a similar grip among trials. Trials began with the stimulus presentation. After stimulus presentation, a go signal was turned on 3 s later indicating that the participant should move or just observe, depending on the experimental condition. TMS was applied over the participant primary motor cortex at 500 or 250 ms before the go signal, randomly. Motor evoked potentials (MEP) were measured by recording the electromyographic signal from *first dorsalis interosseous* - FDI and *abductor digiti minimi* - ADM muscles. Tree-way ANOVA was conducted to evaluate the emotional effect for each muscle. In ACTION condition, the ANOVA revealed a condition \times valence interaction ($p = 0.003$) for FDI. The MEP was larger for unpleasant compared to neutral and pleasant category. Also, MEP amplitude for pleasant was lower than neutral category. There was no significant effect for FDI in NO-ACTION condition. Furthermore, a significant valence effect across conditions (ACTION and NO-ACTION) was also found: higher MEP amplitudes were found for the unpleasant category in ACTION condition as compared to NON-ACTION condition. The reverse was true for the pleasant category: lower MEP amplitudes were found in the ACTION as compared to NON-ACTION condition. For the ADM, there was neither a significant effect among emotional categories nor across conditions ($p = 0.76$). In conclusion, we showed here that the preparatory activity preceding the grasping of a stimulus, as measured by corticospinal excitability, is affected by its emotional value. In other words, our findings show a muscle specific modulation of corticospinal excitability during motor preparation depending on the valence of the stimuli to be grasped.

Keywords: transcranial magnetic stimulation, valence, motor preparation, motor evoked potentials.

Rio de Janeiro,

Agosto de 2012.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Representação esquemática do modelos interno | 7 |
| Figura 2: Os diferentes tipos de neurônios descritos a partir de paradigmas de preparação motora | 10 |
| Figura 3: Representação do fluxo de corrente elétrica mediante a aplicação do pulso de Estimulação Magnética Transcraniana | 15 |
| Figura 4: A Estimulação Magnética Transcraniana | 18 |
| Figura 5: Representação esquemática do paradigma que envolve um período preparatório | 21 |
| Figura 6: Mecanismo do controle do impulso..... | 28 |
| Figura 7: Escalas para avaliação da valência e ativação | 43 |
| Figura 8: Desenho Experimental | 47 |
| Figura 9: Representação da sequência temporal em relação ao eventos do experimento | 49 |
| Figura 10: Movimento do membro superior na condição ação do experimento.. | 49 |
| Figura 11: Posicionamento dos eletrodos | 50 |
| Figura 12: Sinal do registro eletromiográfico dos músculos primeiro interósseo dorsal (PID) e abductor curto do dedo mínimo (ACM) | 51 |
| Figura 13: EMG do músculo extensor comum dos dedos, com os marcadores dos eventos presentes no experimento | 54 |
| Figura 14: Relato Avaliativo | 58 |
| Figura 15: Pontuação média dos 42 estímulos selecionados | 59 |
| Figura 16: Representação dos potenciais evocados motores de um dos participantes | 61 |

| | |
|--|-----|
| Figura 17: Amplitude do potencial evocado motor do músculo primeiro interósseo dorsal (PID) | 64 |
| Figura 18: Amplitude do potencial evocado motor do músculo abductor do dedo mínimo (ADM) | 64 |
| Figura 19: Tempo de resposta | 65 |
| Figura 20: Taxa de erros | 66 |
| Figura 21: Pontuação média dos 14 estímulos escolhidos em cada categoria | 67 |
| Figura 22: Os modelos internos incluem as previsões da valência do estímulo para estimar as consequências sensoriais de uma dada ação | 80 |
| Figura 23: Representação dos potenciais evocados motores registrados do músculo primeiro interósseo dorsal | 158 |
| Figura 24: Representação dos potenciais evocados motores registrados do músculo abductor do dedo mínimo | 162 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Posição referente ao local de aplicação do pulso de EMT | 53 |
| Tabela 2. Média dos PEMs (μV) para o músculo PID | 62 |
| Tabela 3. Média dos PEMs (μV) para o músculo ADM | 63 |
| Tabela 4. Média do TR | 66 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|------|--|
| ACM | Abdutor do dedo mínimo |
| CNV | <i>Contigent negative variation</i> |
| EMG | Eletromiografia |
| EMT | Estimulação Magnética Transcraniana |
| PEM | Potencial Evocado Motor |
| PID | Primeiro interósseo dorsal |
| PP | Valor pico a pico do PEM |
| IAPS | Sistema Internacional de Imagens Afetivas (<i>International Affective Pictures System</i>) |
| SAM | <i>Self-Assessment Manikin</i> |
| TR | Tempo de resposta |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 Planejamento de Ações..... | 2 |
| 1.1.1 Preparação Motora: uma função do Planejamento de Ações | 7 |
| 1.2 Estimulação Magnética Transcraniana: uma forma de avaliar o processo de preparação motora | 14 |
| 1.2.1 Aplicações da Estimulação Magnética Transcraniana | 14 |
| 1.2.2 O que Estimulação Magnética Transcraniana revela sobre a preparação motora? | 20 |
| 1.3 Emoção e Ação | 29 |
| 1.3.1 Influência do Contexto Emocional sobre o Sistema Motor | 31 |
| 1.3.2 Emoção e Preparação Motora | 35 |
| 2 OBJETIVO | 41 |
| 3 METODOLOGIA | 42 |
| 3.1 Seleção dos Estímulos Emocionais | 42 |
| 3.1.1 Relato Avaliativo I | 42 |
| 3.1.2 Análise dos dados | 44 |
| 3.2 Medida do Potencial Evocado Motor | 45 |
| 3.2.1 Amostra | 45 |
| 3.2.2 Desenho Experimental | 45 |
| 3.2.3 Aquisição do Sinal Eletromiográfico | 50 |
| 3.2.4 Localização do Córtex Motor Primário pela Estimulação Magnética | |

| | |
|---|-----------|
| Transcraniana | 51 |
| 3.2.5 Medida do Tempo de Resposta | 53 |
| 3.2.6 Relato Avaliativo II | 54 |
| 3.2.7 Análise dos Dados | 55 |
| 4 RESULTADOS | 57 |
| 4.1 Relato Avaliativo I: Seleção dos Estímulos | 57 |
| 4.2 Potencial Evocado Motor | 59 |
| 4.3 Tempo de Resposta | 65 |
| 4.4 Relato Avaliativo II: Avaliação dos Estímulos | 67 |
| 5 DISCUSSÃO | 68 |
| 5.1 A Influência da Emoção sobre o sistema motor: evidências obtidas a partir de estudos com Estimulação Magnética Transcraniana | 69 |
| 5.2 A excitabilidade córtico-espinhal não é modulada pela simples observação de estímulos emocionais | 73 |
| 5.3 Preparação para ação dirigida a estímulos desagradáveis e agradáveis | 74 |
| 5.4 Tempo de resposta durante o movimento dirigido a estímulos emocionais ... | 81 |
| 6 CONCLUSÃO | 83 |
| 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 84 |
| ANEXOS | 95 |
| 1 Manuscrito Publicado | 96 |

| | |
|--|-----|
| 2 Instrução para Classificação dos Estímulos | 121 |
| 3 Questionário de Lateralidade | 124 |
| 4 Questionário de Segurança para Aplicação da Estimulação Magnética Transcraniana | 126 |
| 5 Termo de Consentimento Livre e Esclarecido | 128 |
| 6 Instrução para o Experimento de Estimulação Magnética Transcraniana | 131 |
| 7 Localização do Córtex Motor Primário pela Estimulação Magnética Transcraniana | 132 |
| 8 Estímulos Selecionados a partir do Relato Avaliativo I | 133 |
| 9 Manuscrito Submetido | 137 |
| 10 Representação dos PEMs do Músculo Primeiro Interósseo Dorsal por Condição e Valência | 158 |
| 11 Representação dos PEMs do Músculo abdutor do Dedo Mínimo por Condição e Valência | 162 |

1 INTRODUÇÃO

O universo é repleto de estímulos emocionalmente significativos. A detecção de estímulos emocionais no ambiente deve ser bem eficiente, pois estes podem tanto ser benéficos, quanto podem oferecer ameaças à sobrevivência. De fato, estímulos emocionais possuem um processamento cerebral privilegiado (BRADLEY *et al.*, 2003; MOURAO-MIRANDA *et al.*, 2003; VOLCHAN *et al.*, 2003) e a informação emocional embute um componente sensorial importante, que aumenta a atenção e prepara o organismo para a ação (revisão em LANG e BRADLEY, 2010).

Uma função fundamental do sistema motor é gerar comportamentos ecologicamente relevantes e adaptados ao contexto em que os mesmos ocorrem (GRAZIANO, 2006). O sistema nervoso é organizado para processar as representações sensório-motoras e espaciais complexas requeridas pelas interações com estímulos no ambiente. Contudo, há uma diversidade de padrões motores que podem ser elaborados, dado as possibilidades de interação com o ambiente. Dessa maneira, durante o planejamento de um ato motor, o cérebro precisa considerar as propriedades do ambiente externo e interno, detectar e integrar diferentes tipos de informações, e, por fim selecionar a resposta (motora) mais apropriada (JEANNEROD, 1997; RIEHLE, 2005).

Os seres humanos, por sua vez, são capazes de iniciar e gerenciar todas as suas interações com o meio (JEANNEROD, 1997). Nesse sentido, todas as informações sensoriais provenientes do ambiente, incluindo as informações que possuem relevância emocional, provêm respostas apropriadas para assegurar a sobrevivência e bem estar, tornando os seres humanos, além de reativos, capazes de prever eventos futuros. Isto pode ser entendido como uma capacidade que os indivíduos possuem de anteciparem

seus comportamentos para que o organismo possa se adaptar às mudanças do ambiente a fim de adequar uma resposta ao contexto. Parte desses comportamentos antecipatórios constitui o processo de preparação motora (BRUNIA e VAN BOXTEL, 2000), o qual é essencial para a execução de um ato motor coordenado (RIEHLE, 2005).

A presente tese de doutorado se dedicou a entender como a preparação motora, que reflete parte do mecanismo de planejamento das ações, é modulada pela valência emocional dos estímulos com os quais se quer interagir. Mais especificamente, esse estudo avaliou se a preparação para o movimento de preensão de estímulos de diferentes categoriais emocionais modularia distintamente a excitabilidade córtico-espinhal.

1.1 Planejamento de Ações

Os atos motores voluntários são planejados antes de serem executados (GHEZ *et al.*, 1997; PADOA-SCHIOPPA *et al.*, 2002; RIEHLE e REQUIN, 1993). O planejamento motor, por sua vez, envolve a codificação de pistas internas e externas que definem o objetivo final de uma ação e a seleção subsequente de esquemas motores (JEANNEROD, 1997). Dentre os processos essenciais ao planejamento motor estão a atenção, a intenção, a estimativa temporal e espacial, a antecipação, a motivação, o julgamento, a tomada de decisão e a preparação motora (RIEHLE, 2005).

O comportamento motor humano é notavelmente preciso e adaptado ao contexto. Para ajustá-lo apropriadamente, o sistema motor precisa acessar as informações do ambiente no qual a ação irá ocorrer, incluindo tanto as propriedades do corpo assim como aquelas associadas com o alvo para o qual o movimento é dirigido. O bom desempenho do movimento requer ajuste constante. Para isso o cérebro precisa

alterar o planejamento do movimento de acordo com a dinâmica do corpo e do alvo (RIEHLE, 2005).

Nesse sentido, o planejamento de uma dada ação envolveria uma representação inicial que seria mais abstrata, tal como o simples desejo de alcançar um objetivo. Para traduzir esse objetivo em movimento, haveria a ativação de todas as representações de movimento passíveis de realizar a ação desejada. Isto recrutaria diferentes regiões como córtex pré-motor, área motora suplementar, os córtices motor primário, pré-frontal, cingulado, parietal e somatossensorial primário, além dos núcleos da base e o cerebelo (revisão em ANDERSEN e CUI, 2009). Cada uma dessas estruturas participaria do planejamento contribuindo de algum modo para a execução do movimento selecionado de acordo com o contexto e com o tipo específico de tarefa. Por fim, a ativação do córtex motor primário ocorreria em consequência da seleção da representação motora adequada para alcançar o objetivo. Essa seleção implicaria também na supressão de alguns esquemas motores indesejáveis, para assim realizar uma ação coordenada no tempo e no espaço (JEANNEROD, 1997; RIEHLE, 2005).

Um circuito, em particular, formado entre regiões dos córtices parietal e motor é fundamental para a produção das transformações sensório-motoras requeridas tanto para localizar e reconhecer objetos quanto para programar os movimentos requeridos para executar os atos que compõem o dia-a-dia, tal como o movimento de prensão manual (RIZZOLATTI, 1998; revisão em ANDERSEN e CUI, 2009). O córtex parietal posterior (áreas 5 e 7), o córtex pré-motor ventral (área 6) e córtex motor primário (área 4) (ver revisão em CASTIELLO e BEGLIOMINI, 2008) parecem transformar informações como tamanho e orientação do objeto na postura apropriada da mão requerida para pegá-lo (JEANNEROD *et al.*, 1995). A área intraparietal (áreas 7b) e córtex pré-motor ventral (área 4) estão diretamente envolvidos na transformação da

informação relativa à localização de um objeto no espaço nos movimentos da mão e cabeça adequados para pegá-lo (LUPPINO *et al.*, 1999).

O circuito parieto-frontal tem sido ainda amplamente estudado a partir de trabalhos desenvolvidos em primatas não-humanos, que utilizam uma abordagem experimental inovadora - a técnica de microestimulação com trens de pulsos de longa duração (500ms) (COOKE e GRAZIANO, 2003 e 2004; GRAZIANO e COOKE, 2006). A aplicação de pulsos de longa duração permite avaliar o sistema motor por meio de uma escala temporal relevante do ponto de vista comportamental, ou seja, com uma duração aproximada do movimento de preensão e alcance realizado pelos macacos. A microestimulação realizada em áreas dos córtices pré-motor e parietal posterior evocou uma coleção de movimentos complexos, que combinavam várias articulações e incluíam comportamentos etologicamente relevantes tais como movimento da mão à boca, de alcance, extensão do braço distanciando-o do corpo, flexão do braço direcionando a mão para o tórax, além de movimentos defensivos. Dessa maneira, um conjunto de evidências revelou que representações corticais sensório-motoras ao longo desta rede neural estão envolvidas com o controle de padrões de movimentos relevantes do ponto de vista comportamental, cujo recrutamento é ativado de acordo com o contexto (COOKE e GRAZIANO, 2003 e 2004; GRAZIANO e COOKE, 2006; STEPNIIEWSKA *et al.*, 2005; revisão em GRAZIANO, 2006).

A idéia de que o sistema nervoso cria representações dos aspectos do ambiente para a geração de comandos motores pode ser também entendida a partir do conceito de modelos internos da ação, os quais consistem no conjunto dos conhecimentos implícitos do corpo, do mundo físico ao seu redor e das suas interações (WOLPERT e GHARAMANI, 2000). Este conceito surgiu em meados do século XIX a partir do interesse da engenharia em controlar o movimento de máquinas para aplicação na

indústria. Desde então, tem influenciado o desenvolvimento de teorias computacionais, em especial, quando aplicado à biologia. Com isso, o conceito de modelos internos tem contribuindo muito para o entendimento do mecanismo de planejamento motor (JEANNEROD, 1997; KAWATO, 1999; SHADMEHR e MUSSA-IVALDI, 1994; WOLPERT e GHARAMANI, 2000; WOLPERT *et al.*, 1995).

No âmbito da teoria do controle motor foi proposto, a partir do conceito de modelos internos, que os movimentos são realizados para alcançar um objetivo ou um estado de recompensa (SHADMEHR e KRAKAUER, 2008; WOLPERT e GHARAMANI, 2000). Assim, toda vez que um indivíduo *planeja* realizar um movimento, são gerados comandos motores que levam em consideração, além do estado atual dos efetores envolvidos na ação, o contexto em que o movimento será realizado. À medida que o indivíduo executa a ação, ele cria simultaneamente uma estimativa das consequências sensoriais do movimento advindas tanto da mudança do estado do efector, quanto da interação do indivíduo com o contexto.

As consequências sensoriais do movimento são estimadas a partir de sistemas de retroalimentação, os quais constituem um componente chave nesse processo (TODOROV e JORDAN, 2002). Segundo Desmurget e Grafton (2000) esses sistemas de retroalimentação poderiam ser classificados em três categorias principais: (1) retroalimentação sensorial, em que a localização de uma dada parte do corpo é estimada com base na informação sensorial; (2) retroalimentação não-sensorial, na qual a localização de uma parte do corpo é estimada com base em informações provenientes dos circuitos motores (cópias eferentes); e (3) retroalimentação interna, em que a localização de uma parte do corpo é estimada com base em ambos os sinais aferentes e eferentes, ou seja, a partir dos modelos internos (DESMURGET e GRAFTON, 2000). Assim, os modelos internos seriam representações neurais que codificam as

características aferentes e eferentes de uma habilidade motora, simulando o comportamento dinâmico do corpo em relação ao meio (KAWATO, 1999; WOLPERT *et al.*, 1995).

Classicamente, há dois tipos de modelos internos: *modelo interno inverso*, que se associa com a implementação dos comandos motores a partir do estado atual do sistema e das consequências desejadas para as ações; e, o *modelo interno preditivo*, o qual se apóia nos aspectos relacionados com a transformação sensório-motora requerida para a implementação de comandos motores (KAWATO, 1999; WOLPERT e FLANAGAN, 2001; WOLPERT e GHAHRAMANI, 2000). Em outras palavras, tomemos como exemplo o desejo de pegar um copo colocado sobre uma mesa e movê-lo em direção do próprio corpo. O modelo interno inverso deve transformar a representação sensorial das posições relativas do corpo, do braço e do objeto em comando motores para alcançar o objetivo de modo adequado. A partir disso, o modelo interno preditivo deve determinar as mudanças geradas pelos comandos motores, ou seja, determina o novo estado do corpo, predizendo as consequências sensoriais do movimento, caso o mesmo ocorra (DESMURGET e GRAFTON, 2000; KAWATO, 1999; WOLPERT e FLANAGAN, 2001; WOLPERT *et al.*, 1995).

Desse modo, ao planejar um movimento, o cérebro precisaria considerar três pontos principais: 1) a identificação do sistema, a partir do qual seria possível prever as consequências sensoriais dos comandos motores; 2) a estimativa de estado, criada a partir da combinação das previsões feitas com a *retroalimentação* sensorial real; e 3) o controle de *retroalimentação* ótimo, para então ajustar as alças de *retroalimentação* sensório-motoras para que a implementação do movimento ocorra com o melhor desempenho (SHADMEHR e KRAKAUER 2008). O resumo desse tópico está representado na Figura 1.

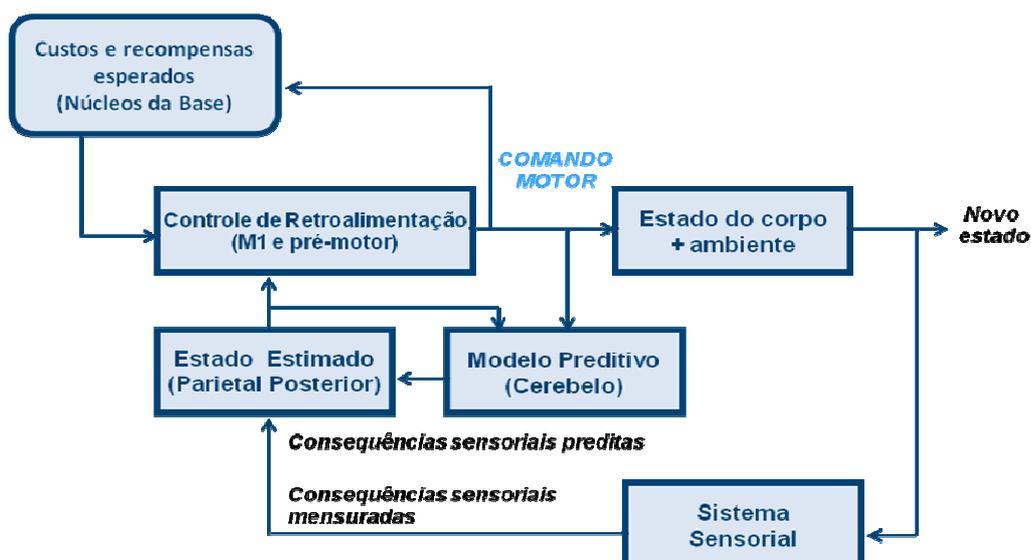


Figura 1. Representação esquemática do modelo interno. Neste modelo assume-se que todo movimento é feito com o objetivo de alcançar um objetivo ou estado de recompensa. Assim, os núcleos da base contribuiriam para as estimativas dos custos esperados dos comandos motores e das recompensas esperadas dos estados sensoriais. O cerebelo representaria o papel na predição das consequências sensoriais dos comandos motores, isto é, as mudanças esperadas da *retroalimentação* sensorial (visual e proprioceptiva). O córtex parietal combinaria a *retroalimentação* sensorial esperada com a *retroalimentação* sensorial real, estimando assim um novo estado, a partir dos estados sensoriais reais. Dado os custos e as recompensas esperados, os córtices pré-motor e motor primário especifica os ganhos de *retroalimentação* para os estados sensoriais, resultando assim em mapas sensório-motores que transformam as estimativas do estado interno em comandos motores. Adaptado de Shadmehr e Krakauer (2008).

1.1.2 Preparação Motora: uma função do planejamento de ações

A preparação motora pode ser definida como uma expressão da alteração de estado do organismo para melhor adaptar às possíveis mudanças do ambiente no qual uma resposta ocorrerá (BRUNIA e BOXTEL, 2000). Nesse sentido, inclui processos do planejamento motor que ajustam o sistema sensório-motor às necessidades do ambiente e garantem a máxima eficiência da organização do desempenho motor (RIEHLE, 2005).

Uma das grandes contribuições para o entendimento do planejamento de ações advém de paradigmas experimentais desenvolvidos para estudar a preparação motora. Em geral, esse paradigma inclui um período preparatório, o qual é definido por um intervalo de tempo programado que garante a ocorrência de um movimento após um

período de espera. O início desse período é determinado pela apresentação de um sinal preparatório ou de um estímulo, e o término pode ser determinado pelo próprio participante, quando guiado por uma pista interna, ou pela utilização de um sinal para iniciar uma resposta, quando guiado por uma pista externa (BRUNIA e BOXTEL, 2000; RIEHLE, 2005). O sinal para iniciar uma resposta é empregado para indicar o que deverá ser feito e / ou o momento de iniciar o movimento. Neste paradigma não há a implementação de um movimento de imediato, porém a representação associada a tal movimento permanece ativa. Dessa maneira é possível estudar a influência de diferentes elementos sobre a ação a partir de paradigmas de preparação motora.

A preparação para um movimento envolve um aumento da atividade neuronal relacionada com o movimento subsequente. Nessa direção, uma grande variedade de trabalhos com eletrofisiologia em macacos sugeriram que quando uma pista associada a uma ação é dada, mas o movimento será realizado somente depois de um segundo sinal, os neurônios do córtex pré-motor e motor primário, principalmente, permanecem ativos durante esse tempo e parecem codificar parâmetros relacionados à resposta selecionada. Esses estudos empregaram o paradigma de preparação motora, onde pistas informativas eram usadas como sinal preparatório e após alguns segundos o sinal para iniciar a resposta indicava que o movimento deveria ser feito o mais rápido possível. O tempo de resposta (TR), além da atividade neuronal era medido. Assim, foi demonstrado que parâmetros relacionados ao movimento como direção, força e velocidade são codificados em regiões do sistema motor mesmo antes de seu início, ou seja, durante a fase de preparação (CHURCHLAND *et al.*, 2006; CHURCHLAND *et al.*, 2006b; CISEK e KALASKA, 2005; CRAMMOND e KALASKA, 2000; GEORGOPOULOS *et al.*, 1989; RIEHLE *et al.*, 1994; RIEHLE e REQUIN, 1995; RIEHLE e REQUIN, 1993; revisão em RIEHLE, 2005). Esses estudos relataram ainda que o fornecimento prévio de

uma informação relacionada aos diferentes parâmetros do movimento, assim como a remoção da incerteza temporal, dada pelo emprego do período preparatório de duração fixa, geram uma redução significativa do TR.

Na busca por caracterizar os parâmetros motores codificados durante a fase de preparação, Riehle e Requin (1989, 1993 e 1995) realizaram uma série de estudos de eletrofisiologia e, com base na atividade neuronal registrada em diferentes áreas corticais, descreveram os tipos e a distribuição de neurônios relacionados com a preparação motora. Assim, foram descritos neurônios que mudavam de atividade exclusivamente durante a preparação para a ação; neurônios cuja atividade eletrofisiológica era modulada apenas durante a execução; e, os neurônios relacionados tanto à preparação quanto à execução (Figura 2). Esses últimos e os neurônios exclusivos da execução foram registrados nos córtices somatossensorial primário, parietal posterior (área 5), pré-motor e motor primário. Porém, neurônios exclusivos da preparação para ação foram encontrados apenas nos córtices pré-motor e motor primário.

motivacionais podem também influenciar no controle da resposta subsequente (HIKOSAKA e WATANABE, 2000; TREMBLAY e SCHULTZ, 2000).

Takikawa *et al.* (2002) examinaram trajetórias dos olhos em macacos treinados para realizar sacadas em direção a alvos localizados em diferentes posições. Eles observaram que quando os macacos esperavam receber recompensas em determinados alvos, os picos de velocidade das sacadas tendiam ser maiores e menos variáveis demonstrando também a inclusão do valor para a produção do movimento. As recompensas esperadas e os custos necessários de um dado movimento determinam as trajetórias escolhidas para a execução da ação e, quando recompensas são esperadas, o planejamento motor reflete essa expectativa direcionando o movimento para obter a recompensa (TAKIKAWA *et al.*, 2002)

Matsumoto e Hikosaka (2009) utilizaram um paradigma Pavloviano adaptado para avaliar a codificação do valor motivacional da tarefa, em contextos distintos - estímulos condicionados apetitivos (suco de maçã) ou aversivos (jato de ar). Os autores verificaram que a resposta registrada em parte dos neurônios dopaminérgicos do mesencéfalo era aumentada quando o estímulo predizia uma recompensa apetitiva, mas inibida mediante a apresentação do estímulo aversivo. Porém, outra parte dos neurônios respondia da mesma forma, tanto para o estímulo que predizia uma recompensa apetitiva, quanto aversiva. Além disso, observaram que a variação da resposta dos neurônios era dependente da estimativa de maior ou menor probabilidade das mesmas ocorrerem. Dessa forma, os resultados desse estudo corroboram a ideia de que o valor associado à tarefa constitui uma informação importante para o sistema durante a preparação para uma resposta e, que em determinadas situações o tipo de recompensa pode interferir na resposta, dado que a atividade de parte dos neurônios altera quando a

recompensa possui um valor apetitivo ou aversivo (MATSUMOTO e HIKOSAKA, 2009; ver revisão em BROMBERG-MARTIN *et al.*, 2010)

Em humanos, a atividade neuronal ao longo do período preparatório também já foi amplamente investigada. Para avaliar especificamente a preparação motora, o registro de dois potenciais relacionados a evento, denominados “CNV” (do inglês “*contingent negative variation*”) (WALTER *et al.*, 1964 *apud* JAHANSHAH e HALLETT, 2003; BRUNIA e BOXTEL, 2000) e “potencial de prontidão” são geralmente obtidos por meio do registro eletroencefalográfico (DEECKE, 1987; DEECKE, 1990; KORNHUBER e DEECKE, 1965 *apud* JAHANSHAH e HALLETT, 2003; SHIBASAKI e HALLETT, 2006). Um potencial relacionado a evento consiste no resultado de uma manifestação elétrica da atividade cerebral em preparação ou em resposta a um evento, que pode ser externo ou interno. (FABIANI *et al.* 2000). A diferença entre estes dois potenciais é que a CNV é registrada antes da apresentação de um sinal para iniciar uma resposta, ou seja, em paradigmas em que um movimento é guiado externamente (BRUNIA e BOXTEL, 2000). O potencial de prontidão resulta da ocorrência eminente de um movimento real e autogerado, ou seja, guiado internamente (JAHANSHAH e HALLETT, 2003). Ambos são registrados em torno de 1 a 1,5 segundo antes do início do movimento. Há evidências de que tanto a amplitude da CNV, quanto do potencial de prontidão pode ser modulada por diferentes fatores, podendo assim revelar aspectos importantes sobre a preparação para ação.

ZAEPFFEL e BROCHIER (2012), por exemplo, utilizaram o registro da CNV para investigar em humanos se durante a preparação para uma tarefa de alcance e preensão, parâmetros do movimento como o tipo de preensão manual e a força eram processados. Para isso utilizaram o paradigma preparatório, onde o primeiro sinal fornecia informação do tipo de preensão e do grau de força requerido durante o

movimento que o participante deveria empregar para realizar a tarefa, após a apresentação do sinal para iniciar o movimento. Este podia ser uma preensão fina (polegar e dedo indicador) ou lateral (polegar e a lateral do dedo indicador), realizado com pouca ou muita força. Os resultados desse estudo mostraram que os dois parâmetros são processados durante a preparação, porém recrutando redes cerebrais distintas, pois a informação relacionada ao tipo de preensão envolveu um aumento da amplitude da CNV em regiões parietais, enquanto que a informação sobre o grau de força envolveu um aumento da amplitude da CNV em regiões mais centrais, além das regiões do córtex parietal.

O potencial de prontidão, por sua vez, também é sensível ao grau de força empregado em um movimento, ou seja, quanto maior a força empregada em uma tarefa de movimento manual, maior a amplitude do potencial de prontidão precedendo a realização do mesmo (BECKER e KRISTEVA, 1980; MASAKI *et al.*, 1998; SIEMIONOW *et al.*, 2000). O grau de esforço (KRISTEVA *et al.*, 1990), de mobilização de recursos (MCCALLUM, 1993), de envolvimento intencional (KELLER & HECKHAUSEN, 1990; LIBET 1985), motivacional (MCADAM e SEALES, 1969) e da facilidade para realizar o movimento subsequente (BAUER e NIRNBERGER, 1981) também interferem na amplitude desse potencial. Além disso, evidências de que o grau do alerta associado a um estímulo pode modular a preparação para um movimento já foram mostradas a partir de estudos de registro do potencial de prontidão (BORTOLETTO *et al.*, 2011; MASAKI *et al.*, 2000).

Em conjunto, esses estudos constituem evidência neurofisiológica de que a preparação motora é um processo que antecede a execução de um movimento voluntário, no qual diferentes aspectos associados com o movimento subsequente são codificados em estruturas corticais chave, incluindo os córtices pré-motor e motor

primário. Além disso, características fundamentais associadas ao sistema motor tal como o processamento de pistas do ambiente onde a ação ocorre e da motivação atrelada à tarefa podem ser essenciais para a implementação de uma ação adaptada ao contexto.

É também notável na literatura as contribuições sobre o processo de preparação motora em humanos advindas de estudos desenvolvidos com a técnica de Estimulação Magnética Transcraniana (EMT). Como esta técnica é a principal ferramenta que será utilizada nesse trabalho, a sessão seguinte se dedica a uma revisão desse tema.

1.2 Estimulação Magnética Transcraniana: uma forma de avaliar o processo de preparação motora

1.2.1 Aplicações da Estimulação Magnética Transcraniana

A EMT é uma técnica não invasiva que permite avaliar a excitabilidade córtico-espinhal de forma indolor em humanos, quando aplicada sobre a região do córtex motor (para revisão geral ver CONFORTO *et al.*, 2003; ROSSI *et al.*, 2009; ROSSINI *et al.*, 2010; WAGNER *et al.*, 2007). Apesar da multiplicidade de trabalhos que têm empregado essa técnica no estudo de mecanismos fisiológicos e patológicos, a descrição inicial da técnica é relativamente nova. Foi em meados dos anos 80 que Barker e colaboradores demonstraram, pela primeira vez, que a estimulação do córtex motor podia ser realizada por meio da aplicação de um campo magnético (BARKER *et al.*, 1985 *apud* ROTHWELL *et al.*, 1999). Para a estimulação magnética, um pulso de curta duração e alta corrente, cuja intensidade máxima está em torno de 5.000 Amperes é produzido por meio de uma bobina posicionada sobre o escalpo do participante. A

bobina é conectada a um capacitor através de um circuito elétrico. Um campo magnético é produzido com linhas de fluxo perpendiculares à bobina, e intensidades iguais ou maiores que 1,5 Tesla em torno desta. Esse campo magnético, por sua vez, gera um campo elétrico perpendicular capaz de ativar estruturas neurais subjacentes (Figura 3). No córtex, os meios condutores são estruturas neurais localizadas em direção aproximadamente paralela à da bobina, a uma profundidade de 1,5 a 2 cm abaixo da superfície. O campo induzido no tecido cerebral é de cerca de 100 mV/mm. Quanto maior a intensidade do campo no córtex cerebral, maior a extensão da despolarização de membranas celulares e, conseqüentemente, maior a área de ativação neuronal. Como o crânio e o couro cabeludo apresentam alta resistência elétrica, a corrente que flui nestas estruturas é mínima, diminuindo o desconforto que poderia ser causado por excitação de terminações nociceptivas (HALLETT, 2000; PASCUAL-LEONE *et al.*, 1998; ROSSINI *et al.*, 2010).

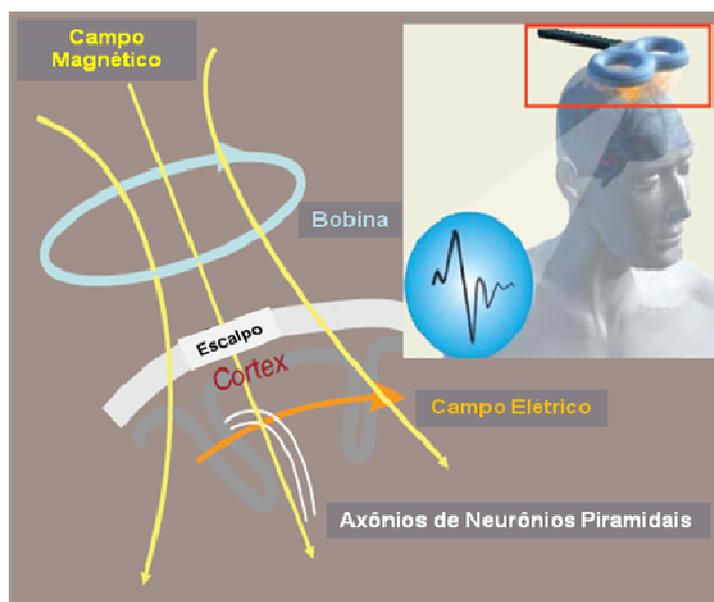


Figura 3: Representação do fluxo de corrente elétrica mediante a aplicação da bobina de EMT. Adaptado de Rossini *et al.* (2010).

O efeito da estimulação magnética depende, em parte, da geometria da bobina. Em geral, as bobinas maiores não produzem uma estimulação muito focal, mas podem penetrar de uma maneira mais profunda ao longo do tecido cerebral. As bobinas mais comumente empregadas são as de formato circular e com formato em oito. A primeira produz um campo de estimulação capaz de ativar um volume grande de tecido cerebral, mas com intensidade máxima localizada ao redor da circunferência da bobina, e intensidade mínima no centro. Isto faz com que a estimulação tenha uma resolução espacial bem baixa. Já a bobina em formato de oito possui o campo máximo de estimulação sob a região de junção dos dois anéis que formam o oito, oferecendo assim uma estimulação mais focal, com resolução espacial de cerca de 0,5 cm (HALLETT, 2007; ROSSI *et al.*, 2009). Além destas, a bobina de cone duplo é bastante empregada no estudo de representações localizadas em torno da linha média do córtex, como por exemplo, dos membros inferiores. Apesar do campo de estimulação ser menos focal, quando comparado com a bobina em oito, permite a ativação direta do tecido bem mais profunda (LONTIS *et al.*, 2006).

A EMT pode evocar tipos diferentes de atividade na via córtico-espinhal, dependendo da área cortical, do tipo e da intensidade de estimulação utilizada. Acredita-se que quando aplicada no córtex motor primário, a EMT produz uma série de disparos córtico-espinhais que refletem a ativação trans-sináptica dos neurônios subjacentes. A somação temporal desses disparos sinápticos ao nível da medula espinhal ocasiona a despolarização de motoneurônios alfa e das fibras musculares correspondentes. A magnitude do efeito do estímulo magnético na via córtico-espinhal pode ser facilmente mensurada no potencial evocado motor (PEM), registrado através da eletromiografia de superfície (HALLETT, 2007) (Figura 4).

Nesse sentido, a EMT ativaria a via córtico-espinhal de modo indireto, seja através de ativação trans-sináptica dos neurônios piramidais, ou pela ativação do soma ou de regiões próximas ao cone axonal. Estudos que empregaram tanto a estimulação elétrica, quanto a magnética no córtex motor e registraram as descargas descendentes com eletrodos implantados na medula espinhal contribuíram para tal afirmação. As descargas registradas foram caracterizadas como: diretas, ou ondas D, observadas com estimulação elétrica transcraniana ou com pulsos de EMT de muito alta intensidade; ou indiretas, ou ondas I, identificadas como I1, I2 e I3, com periodicidade de cerca de 1,5 ms entre elas. As ondas D são evocadas pela estimulação direta do tracto córtico-espinhal na região do axônio, não sendo afetadas significativamente pelo nível de atividade cortical. As ondas I são decorrentes da ativação trans-sináptica dos neurônios piramidais, sendo assim moduladas pelo estado de excitação/inibição do córtex. Dessa forma, é consenso que as características do PEM obtido com o pulso de EMT são determinadas tanto pelo grau de excitabilidade dos neurônios corticais, quanto dos neurônios medulares (DI LAZZARO *et al.*, 2004; DI LAZZARO *et al.*, 2008).

Diferentes formas de aplicação da EMT já foram descritas: pulso único, pareado ou repetitivo. A escolha da técnica depende do objetivo e / ou do parâmetro que se deseja avaliar.

A EMT de pulso único, por exemplo, é uma técnica em que um pulso é disparado com intervalo entre os pulsos de, no mínimo 3 segundos. É considerada uma das maneiras mais simples e seguras de aplicação da EMT. O efeito deste tipo de estimulação é excitatório, uma vez que a intensidade de pulso usada é supra-limiar (ROTHWELL *et al.*, 1999). Esta forma de aplicação da EMT é amplamente usada para realizar o mapeamento cortical e para avaliar o tempo de condução motora, o qual permite estimar sobre a transmissão de impulsos neurais em vias motoras (ROSSI, *et*

al., 2009). A medida do tempo de condução pode ser útil, inclusive, no diagnóstico de doenças como esclerose lateral amiotrófica e esclerose múltipla, em que um aumento na duração do tempo de condução pode ser verificado em função da desmielinização do tracto córtico-espinhal (GROPPA *et al.*, 2012).

A EMT de pulso único fornece ainda informações sobre outros parâmetros da excitabilidade córtico-espinhal. Dentre estes temos: o limiar motor de repouso ou ativo, a curva de recrutamento e período silente. Cada um desses parâmetros revela um aspecto da fisiologia do sistema córtico-espinhal (PASCUAL-LEONE *et al.*, 1998).

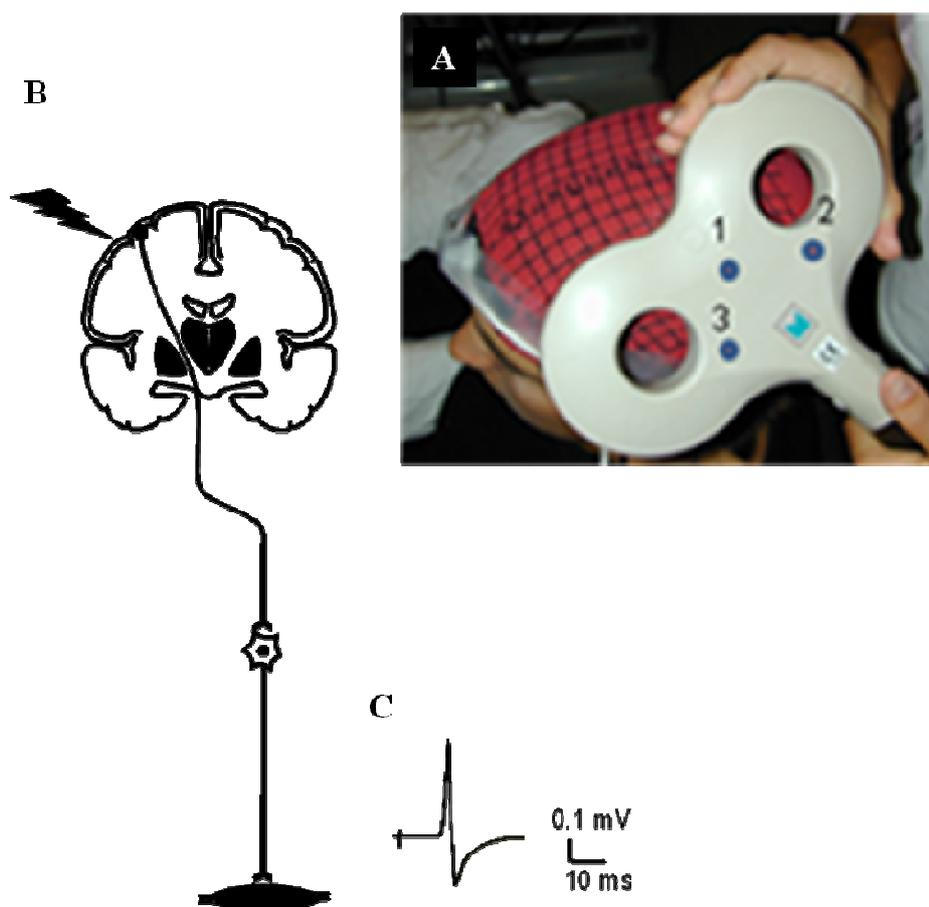


Figura 4: Estimulação Magnética Transcraniana. A) Posicionamento da bobina no escalpo de um participante. B) Representação esquemática da aplicação de um pulso EMT no córtex motor primário. C) Potencial motor evocado num músculo de interesse.

O limiar motor corresponde a menor intensidade de estímulo capaz de evocar PEM de amplitude de no mínimo 50 μ V, após a aplicação de, pelo menos, 5 dentre 10 pulsos de EMT. O limiar motor representa a medida da excitabilidade da membrana dos neurônios do tracto córtico-espinhal. Quanto maior o limiar, menor a excitabilidade neuronal (PASCUAL-LEONE *et al.*, 1998).

A curva de recrutamento reflete o aumento na amplitude do PEM, à medida que a intensidade da EMT é elevada. Para avaliar a curva de recrutamento pulsos únicos são aplicados no córtex motor primário a intensidades progressivamente maiores. Esse parâmetro parece envolver a ativação progressiva de neurônios menos excitáveis ou mais distantes do centro de ativação da EMT (CHEN *et al.*, 1998).

O período silente refere à ausência de atividade eletromiográfica detectada por um intervalo de tempo logo após o registro de PEMs, que corresponde a um fenômeno de inibição cortical transiente (PASCUAL-LEONE *et al.*, 1998).

Outra forma de aplicação da EMT é a de pulso pareado. Neste caso, dois pulsos magnéticos são administrados consecutivamente, havendo um intervalo de poucos milissegundos (ms) entre eles. A intensidade do primeiro pulso pode ser abaixo do limiar motor e a do segundo, acima do mesmo, a intervalos menores que 5 ms entre os dois pulsos. Com essa modalidade da EMT de pulso pareado, verifica-se uma diminuição na amplitude do PEM, em comparação à registrada quando um pulso único é administrado - fenômeno denominado *inibição intra-cortical*. Em outra modalidade de aplicação dessa técnica, utilizando intervalos maiores que 5 ms entre os dois pulsos, observa-se o fenômeno oposto, com aumento da amplitude do PEM, caracterizado como fenômeno de *facilitação intra-cortical*. Acredita-se que estes fenômenos relacionem-se à atividade de diferentes circuitos inibitórios e excitatórios no córtex motor (CHEN *et al.*, 1999).

A EMT repetitiva consiste na aplicação de pulsos únicos repetidos em uma frequência alta (acima de 1 Hz) ou em uma frequência baixa (igual a 1 Hz). Esta forma de aplicação da EMT também permite a avaliação da facilitação, quando aplicado em alta frequência e da inibição cortical, quando em baixa frequência (DI LAZZARO *et al.*, 2011; ROSSI *et al.*, 2009). É cada vez maior o interesse pela utilidade terapêutica dessa forma de aplicação de EMT, de modo especial no tratamento de doenças neurológicas e psiquiátricas (BUHMANN *et al.*, 2004; MINIUSSI *et al.*, 2008; ROSSI *et al.*, 2009; SANTIAGO-RODRIGUEZ *et al.*, 2008).

1.2.2 O que a Estimulação Magnética Transcraniana revela sobre a preparação motora?

Por meio da aplicação da EMT sobre o córtex motor primário, muitos estudos revelaram diversas modificações no sistema motor durante a fase de preparação motora (CATTANEO *et al.*, 2005; DAVRANCHE *et al.*, 2007; HASBROUCQ *et al.*, 1997; HASBROUCQ *et al.*, 1999; KINOSHITA *et al.*, 2007; LEOCANI *et al.*, 2000; NIKOLOVA *et al.*, 2006; PRABHU *et al.*, 2007; SINCLAIR e HAMMOND, 2008; SINCLAIR e HAMMOND, 2009; TAKEI *et al.*, 2005; TANDONNET *et al.*, 1998). Esses estudos utilizaram um paradigma experimental, onde um período determinado é interposto pela apresentação de dois sinais: um preparatório e, outro para se iniciar a resposta (Figura 5). É válido salientar também que a maioria dos estudos que investigou o processo de preparação motora, por meio do paradigma supracitado e aplicação de EMT, empregou os seguintes tipos de tarefa de TR: *simples*, o qual envolve um período de tempo entre a ocorrência de um sinal preparatório e o sinal de início do movimento, mas a tarefa a ser realizada já é conhecida a priori; TR com *escolha*, que engloba um

dados período de tempo, onde uma pista preparatória pode indicar o tipo de tarefa que deve ser executada (a direção para onde mover, o efetor que deve ser usado, etc.), após a apresentação do sinal para iniciar a resposta; ou ainda TR *Go/Nogo*, onde após um dado período de tempo preparatório, uma pista pode indicar que um movimento deve (*go*) ou não ser realizado (*nogo*) (RIEHLE, 2005).

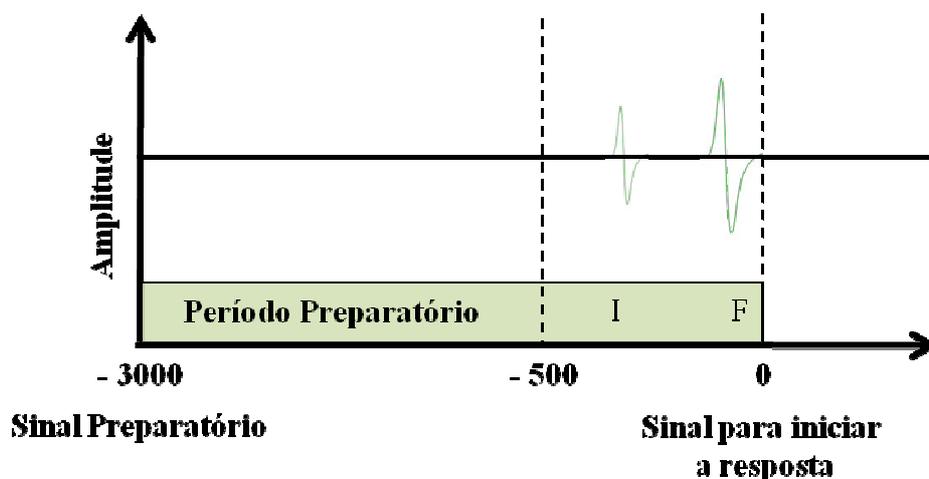


Figura 5. Representação esquemática do paradigma que envolve um período preparatório. Este envolve a apresentação de dois sinais: o primeiro é o sinal preparatório e, o segundo, o sinal que indica que a resposta deve ser iniciada. É possível também observar nessa figura a variação da excitabilidade córtico-espinal ao longo da fase preparação motora. Diferentes trabalhos realizados com EMT propuseram que a amplitude dos PEMs varia em função do momento ao longo da fase de preparação para uma ação. Uma redução significativa da excitabilidade córtico-espinal revelada pela menor amplitude do PEM ocorre principalmente entre 500-150 ms antes do sinal para iniciar a resposta. Esse efeito foi correlacionado com um mecanismo inibitório (I) importante para que o movimento, previamente planejado, ocorra no momento e de forma adequada (HASBROUCQ *et al.*, 1997 e 1999; DUQUE e IVRY, 2009). Diferentemente, os PEMs disparados entre 100-80 ms antes do sinal para iniciar a resposta apresentam amplitudes maiores e eram correlacionados com uma facilitação do sistema (F), a qual seria fundamental para o sistema alcançar o nível de ativação necessária para o comando motor ser executado (LEOCANI *et al.*, 2000; CATTANEO *et al.*, 2005; TANDONNET *et al.*, 2010).

Diferentes trabalhos empregaram essas tarefas envolvendo o TR e reportaram que aspectos como a expectativa da ocorrência de uma resposta (SINCLAIR e HAMMOND, 2008; VAN ELSWIJK *et al.*, 2007), a informação sobre a direção do

movimento a ser executado pelo participante (VAN ELSWIJK *et al.*, 2008) e a previsibilidade quanto ao momento que o movimento deverá ser inicializado (TAKEI *et al.*, 2005) podem modular diferentemente a excitabilidade córtico-espinhal. Além disso, uma questão intrigante e amplamente discutida na literatura é sobre a variação que ocorre sobre a excitabilidade córtico-espinhal no decorrer da fase de preparação motora. Ou seja, independente do tipo de informação prévia que é fornecida, do movimento que será realizado e do tipo de tarefa de TR empregado parece haver uma *supressão* significativa da excitabilidade córtico-espinhal durante a preparação (DAVRANCHE *et al.*, 2007; DUQUE e IVRY, 2009; HASBROUCQ *et al.*, 1997; HASBROUCQ *et al.*, 1999; KINOSHITA *et al.*, 2007; SINCLAIR e HAMMOND, 2009; TAKEI *et al.*, 2005; TANDONNET *et al.*, 2010; TOUGE *et al.*, 1998).

Hasbroucq *et al.* (1999), por exemplo, empregaram uma tarefa de TR com escolha e investigaram o efeito sobre a via córtico-espinhal durante um período preparatório com duração fixa (1s). Os autores usaram uma pista associada ao sinal para iniciar a resposta. Esta podia indicar como a tarefa deveria ser feita: com a mão direita ou esquerda, com o dedo indicador ou médio e, ainda a pista podia ser não-informativa. Pulsos únicos de EMT eram aplicados sobre o córtex motor primário e PEM do músculo flexor superficial dos dedos era registrado em momentos específicos ao longo do período preparatório: em 1000, 500, 333, 166 ms ou junto com o sinal para iniciar a resposta. Os resultados mostraram uma redução progressiva na amplitude do PEM ao longo do período preparatório, o qual não era dependente do tipo de informação que os participantes recebiam. A partir disso, os autores sugeriram que as mudanças na excitabilidade córtico-espinhal refletem os aspectos temporais da preparação motora, mas não a preparação para uma resposta específica.

Kinoshita *et al.* (2007), por sua vez, empregaram tanto tarefas de TR simples quanto de escolha, com o objetivo central de avaliar se o efeito inibitório sobre a excitabilidade córtico-espinhal durante a preparação motora seria mantido por um longo período ou seria algo apenas momentâneo. Para isso, empregaram sessões experimentais repetidas, onde uma tarefa de força isométrica com o dedo indicador deveria ser feita após uma pista e mantida até o sinal para iniciar a resposta, quando um aumento de 10 % da força de contração voluntária máxima devia ser feito. O período preparatório tinha duração fixa de 2 s e pulsos únicos de EMT eram aplicados em 500 ms antes do sinal para iniciar a resposta, enquanto PEMs do músculo primeiro interósseo dorsal eram registrados. O sinal para responder podia indicar que o movimento deveria ou não ser feito, dependendo da pista apresentada. Os autores mostraram uma supressão significativa da amplitude do PEM, a qual foi mantida ao longo de todas as sessões realizadas, de modo especial quando a tarefa de TR simples era empregada. Além disso, esse efeito ocorria apenas quando os participantes eram orientados a responder, mediante o aparecimento do sinal para iniciar a resposta. Quando isso não ocorria, ou seja, quando uma resposta não era solicitada, a modulação do PEM desaparecia. Os achados desse estudo indicaram que uma supressão intrínseca da atividade no córtex motor primário ocorre durante a preparação, principalmente, quando os participantes estão engajados em realizar uma tarefa *a posteriori*.

Na busca por entender a possível função da supressão da excitabilidade córtico-espinhal durante a preparação motora, Duque e Ivry (2009) realizaram um estudo bastante interessante. Para isso, pulsos únicos de EMT eram aplicados sobre o córtex motor primário esquerdo ou direito durante a preparação para um movimento que deveria ser executado com o dedo indicador direito, esquerdo ou com ambos, respectivamente. A informação acerca de qual (is) dedo (s) utilizar era dada a partir de

um sinal preparatório apresentado no início de cada tentativa. Pulsos de EMT eram aplicados no intervalo entre 400 a 100 ms, antes da execução da tarefa. PEMs eram registrados no músculo primeiro interósseo dorsal da mão esquerda. Os autores descreveram uma redução da amplitude dos PEMs, porém essa redução era significativamente maior quando o sinal preparatório indicava que o movimento deveria ser executado com o dedo indicador esquerdo, do que quando o sinal indicava o dedo direito ou ambos. A partir disso, os autores sugeriram que a função primária da supressão córtico-espinhal descrita durante o período preparatório, seria de assegurar que uma resposta selecionada pelo sinal preparatório e, por isso com uma alta probabilidade para ocorrer, seja implementada no momento ideal, ou seja, após o sinal para iniciar o movimento. Em outras palavras, que uma resposta não ocorra de forma e no momento inapropriado. Tal modulação é conhecida como *mecanismo do controle do impulso* e consiste em uma das teorias usadas para explicar as variações na atividade relacionadas com o controle do início de um movimento, que ocorrem durante a fase de preparação. Esse mecanismo seria essencial quando dois efetores estão potencialmente envolvidos em uma dada resposta, onde mecanismos inibitórios se tornam essenciais para evitar que certas ações sejam implementadas prematuramente (ver Figura 6). Em 2012, o mesmo grupo (DUQUE *et al.*, 2012) realizou um experimento com paradigma similar, mas empregando a EMT repetitiva de baixa frequência para gerar inibição dos córtices pré-motor e pré-frontal dorsomedial, enquanto os participantes se preparavam para realizar a mesma tarefa do trabalho anterior (DUQUE e IVRY, 2009). Os autores demonstraram que mediante a inibição do córtex pré-motor, uma região classicamente envolvida na preparação motora, o mecanismo do controle do impulso reduziu, tal como evidenciado pela redução da amplitude do PEM. Esse achado corrobora a teoria de que

a supressão da excitabilidade córtico-espinhal pode ser essencial para a implementação de uma ação de modo apropriado ao longo da fase de preparação (DUQUE *et al.*, 2012).

Recentemente, alguns estudos tem se destinado a entender em qual nível do sistema motor ocorre esse efeito de inibição durante a preparação para uma ação (DUQUE *et al.*, 2010; SINCLAIR e HAMMOND, 2009; TANDONNET *et al.*, 2010; para revisão COHEN *et al.*, 2010). Duque *et al.* (2010) empregaram uma tarefa de tempo de reação de escolha semelhante a de Duque e Ivry (2009), mas além de registrarem os PEMs do músculo da mão esquerda, mediram o reflexo de Hoffman (H) durante o período preparatório. A medida do reflexo H é um paradigma (HASBROUCQ *et al.*, 1999) que permite avaliar a excitabilidade dos motoneurônios espinhais. Dessa maneira, modulações em circuitos corticais e medulares puderam ser acessadas. Como descrito por esse mesmo grupo em 2009, a partir da aplicação de pulsos únicos de EMT no córtex motor primário direito, a amplitude dos PEMs registrados do músculo primeiro interósseo dorsal da mão esquerda apresentou uma redução significativa durante o período preparatório. Adicionalmente, o reflexo H também apresentou uma redução na mesma condição experimental, indicando assim que os efeitos inibitórios se estendem para os circuitos medulares (ver Figura 6).

Tandonnet *et al.* (2010) realizaram um estudo em que períodos preparatórios com intervalos de 500 ms ou de 2500 ms de duração eram empregados de forma aleatória. Uma luz verde (sinal preparatório) indicava o início da tarefa, que após 500 ou 2500 ms era substituída por uma luz amarela. Esta se acendia à direita ou à esquerda indicando que o movimento deveria ser feito com o polegar da mão direita ou da esquerda, respectivamente. EMT de pulso único e pulso pareado com intervalo inter-estímulo de 5 ms, a fim de gerar uma inibição intracortical e, de 13 ms para provocar uma facilitação intracortical, eram aplicados córtex motor primário esquerdo junto com

o sinal preparatório ou com o sinal para iniciar a resposta, aleatoriamente. A amplitude do PEM do músculo flexor curto do polegar da mão direita foi medida. Os autores relataram uma redução da excitabilidade córtico-espinhal com a EMT de pulso único, e uma facilitação intracortical com a EMT de pulso pareado no decorrer da fase de preparação motora. Em especial, esse efeito foi mostrado quando o período preparatório era de curta duração (500 ms). Foi sugerido pelos autores que a preparação temporal para uma ação se relaciona com um mecanismo de supressão da via córtico-espinhal, associado com uma ativação intracortical. Desse modo poderia haver tanto uma redução quanto um aumento da excitabilidade córtico-espinhal durante a preparação motora. De fato, há também evidências de aumento da excitabilidade córtico-espinhal durante a fase de preparação para o movimento, sendo este máximo quanto mais próximo do sinal para iniciar a resposta ou em torno de 80-100 ms antes do início do movimento (BURLE *et al.*, 2002; CATTANEO *et al.*, 2005; HOSHIYAMA, *et al.*, 1996; LEOCANI *et al.*, 2000; MACKINNON e ROTHWELL, 2000; NIKOLOVA *et al.*, 2006; PASCUAL-LEONE *et al.*, 1992).

Um trabalho em especial dedicou-se em avaliar o real efeito sobre a excitabilidade córtico-espinhal durante a preparação motora. Davranche *et al.* (2007) empregaram um paradigma de TR de escolha e um período preparatório com dois intervalos entre os sinais preparatório e de iniciar a resposta: 500 ms ou de 2500 ms de duração. Pulsos únicos de EMT eram aplicados sobre o córtex motor, enquanto que o PEM era registrado no músculo flexor curto do polegar. Os resultados desse estudo também indicaram uma redução significativa da amplitude do PEM, em particular quando o período preparatório de curta duração foi empregado. Associadamente, os autores realizaram a medida do período silente, o qual se relaciona com fenômenos de inibição cortical. Essa medida é feita após o registro dos PEMs, quando se observa um

intervalo de ausência da atividade eletromiográfica, que corresponde ao período silente. Uma redução significativa do período silente foi evidenciada próximo ao sinal resposta, ou seja, no intervalo de 80-100 ms. Isso ocorreu para ambos os períodos preparatórios, de curta e longa duração. Os autores sugeriram a partir desses resultados que, na verdade, a preparação motora consiste em um processo relacionado com uma remoção da inibição cortical, que aparece logo antes do início do movimento, resultando assim em uma ativação do sistema. Dessa forma, as evidências existentes parecem indicar um efeito modulatório duplo, que inclui inibição e facilitação, ocorrendo concomitantemente durante a preparação motora.

Assim sendo, o processo de preparação da ação pode englobar tanto uma redução quanto um aumento do PEM dependendo do momento ao longo da preparação para uma ação, sendo ambos os efeitos fundamentais para a ocorrência de um movimento apropriado. Na Figura 5, uma correlação ilustrativa dos efeitos globais ao longo do período preparatório pode ser observada.

No presente estudo, portanto, o interesse central é investigar o efeito da modulação emocional sobre a excitabilidade córtico-espinhal através da medida do PEM, quando o indivíduo precisa se preparar para manipular estímulos que possuem um valor emocional. Perguntamo-nos se haveria uma supressão intrínseca da excitabilidade córtico-espinhal ao longo da preparação motora dependente da valência emocional do estímulo que irá se interagir. A EMT de pulso único foi empregada para avaliar o efeito sobre o sistema córtico-espinhal durante a preparação para um movimento dirigido a estímulos emocionais. Emitimos a hipótese que durante a preparação para o movimento dirigido aos estímulos desagradáveis, a excitabilidade córtico-espinhal será maior, em comparação com os estímulos neutros e agradáveis. Neste caso, dado a característica aversiva dessa categoria de estímulos, uma maior excitabilidade se fará importante para

que o movimento seja executado, mesmo em uma situação onde, naturalmente, não há desejo para interagir. Porém, a excitabilidade córtico-espinal precedendo o movimento dirigido aos estímulos agradáveis será menor, em comparação com os estímulos neutros e desagradáveis. Neste caso, a alta agradabilidade dos estímulos envolve um estado de prontidão natural para interagir com essa categoria de estímulos, o que pode refletir em uma supressão da excitabilidade córtico-espinal, importante para que o movimento não seja iniciado antes do momento adequado.

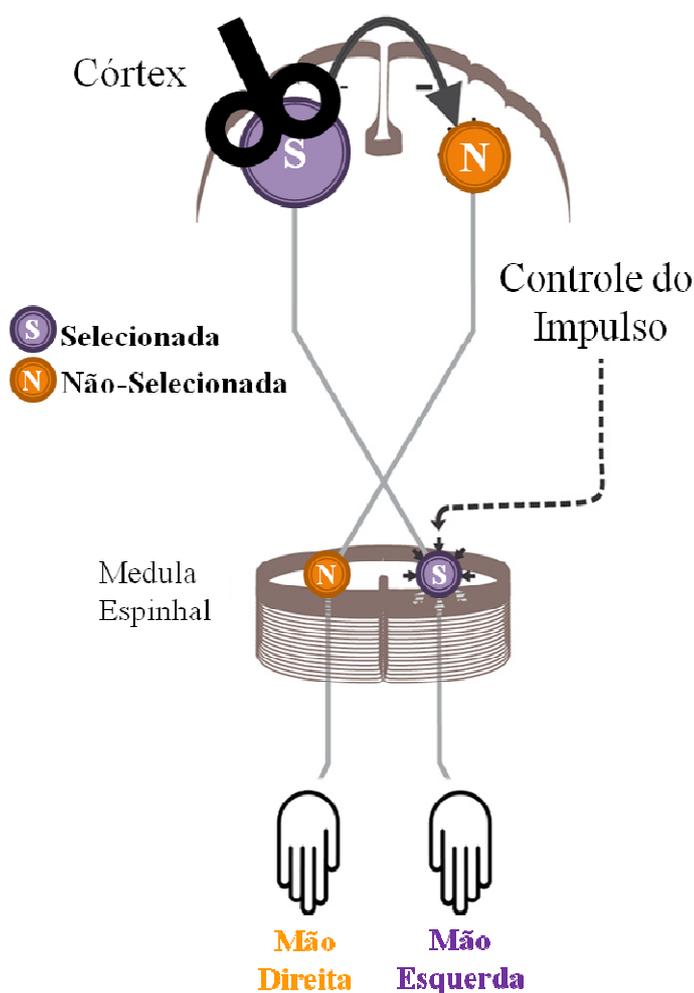


Figura 6. Mecanismo do controle do impulso. A implementação de uma resposta previamente planejada, de forma adequada e no momento preciso, envolve o mecanismo do controle do impulso. Esse mecanismo foi demonstrado a partir de um paradigma em que pulsos únicos de EMT eram aplicados no córtex motor primário esquerdo ou direito, enquanto os PEMs eram registrados em músculos da mão direita ou esquerda. Uma pista podia indicar que a tarefa

deveria ser feita com o dedo indicador direito, esquerdo ou ambos. Assim, o efector podia ser uma resposta selecionada (S) ou não (N). Quando a pista indicava que o efector selecionado era da mão esquerda e o pulso de EMT era aplicado à direita, a amplitude do PEM era consideravelmente menor, do que quando o efector selecionado era da mão direita ou de ambas as mãos. Isto recrutaria um mecanismo de controle do impulso, que seria responsável pela supressão da amplitude do PEM. Uma possibilidade é que esse mecanismo atue sobre a medula espinhal. Adaptado de Duque *et al.* (2012).

1.3 Emoção e Ação

A ideia de que as emoções podem de algum modo influenciar as ações não é nova. Darwin, em 1872, a partir de observações diretas do comportamento tanto de homens quanto de animais revelou que alguns estados da mente levam a certos movimentos que expressam de alguma forma suas experiências. Nesse sentido, em situações aversivas os movimentos do corpo vão se alterar de modo distinto do que quando em situações acolhedoras. Por exemplo, um cão quando se aproxima de um homem estranho em um ambiente hostil, fica em pé e em uma postura dura, mas se o homem do qual ele se aproxima é o seu dono, a postura muda por completo; o corpo arqueia e o animal se agacha (DARWIN, 1872).

Desde então, um número grande de trabalhos tem abordado a relação entre emoção e ação avaliando as respostas fisiológicas e o efeito da expressão de emoções. Lang e colaboradores (1993), por exemplo, investigaram a atividade de dois músculos faciais (corrugador e zigomático) enquanto indivíduos faziam o julgamento afetivo de figuras. Os autores relataram que uma contração significativa do músculo corrugador, responsável pela expressão de zangado, ocorria quando as figuras eram classificadas como desagradáveis. A resposta registrada nesse mesmo músculo foi modesta durante a observação de figuras neutras e, ainda menor quando as figuras observadas eram classificadas como agradáveis. O mesmo padrão não ocorreu quando o músculo

avaliado foi o zigomático, o qual está envolvido na expressão do sorriso. Tem sido também mostrado que a apresentação de figuras emocionais é efetiva em evocar respostas de condutância da pele e da frequência cardíaca, que tendem a variar de acordo com o grau de ativação e com a valência dos estímulos, respectivamente (BRADLEY e LANG, 2001; LANG *et al.*, 1993)

Mais recentemente, Tamietto e de Gelder (2008) relataram que as expressões corporais emocionais induzem reações emocionalmente congruentes (função do músculo e da valência do estímulo) na face de quem as observa. Para isso, também avaliaram a atividade dos músculos corrugador do supercílio e do zigomático por meio de registro eletromiográfico. Nesse estudo, foram empregadas figuras de expressões corporais de medo e de felicidade com um intervalo de apresentação menor que 20 milissegundos, o qual é suficiente para evitar a percepção consciente do estímulo. Contudo o padrão de resposta facial foi consistente com a valência do estímulo. Ou seja, o músculo corrugador apresentou uma atividade maior mediante a apresentação de expressões corporais de medo, e o zigomático, de expressões de felicidade (TAMIETTO e DE GELDER, 2008). Interessantemente, as mesmas reações faciais são observadas em situações em que expressões emocionais faciais e corporais são apresentadas no campo visual “cego” de indivíduos com lesão unilateral do córtex visual (TAMIETTO *et al.*, 2009), excluindo dessa maneira que a resposta aos estímulos emocionais seja consequência de uma mera imitação induzida pela percepção visual. Em conjunto, esses estudos sugerem que o reconhecimento de expressões corporais com significado emocional constitui um componente fundamental na percepção de ações e pode ser importante na preparação do organismo para agir de uma forma adaptada ao contexto (DE GELDER, *et al.*, 2004; revisão em TAMIETTO e DE GELDER, 2010).

1.3.1 Influência do contexto emocional sobre o sistema motor

Emoções constituem parte fundamental da vida dos seres humanos. Uma proposta para categorizar as emoções apresentadas pelos indivíduos foi desenvolvida de acordo com os sistemas motivacionais que geram comportamentos apetitivos (aproximação) e aversivos / defensivos (esquiva). Essa organização é fundamentada na valência e no grau de ativação emocional (BRADLEY e LANG, 2001; BRADLEY e LANG, 2000). Segundo esses autores, a ativação de um desses sistemas (apetitivo ou defensivo) tem um impacto sobre o funcionamento cerebral, gerando além de adaptações fisiológicas, representações específicas, condizentes com o contexto de uma dada ação.

Nessa direção, um grande número de trabalhos se interessou em estudar os estados motivacionais de aproximação (*approach*) ou de esquiva (*avoidance*) por meio da medida do tempo de resposta para movimentos específicos durante a apresentação de palavras ou figuras emocionais (BAMFORD e WARD, 2008; CHEN e BARGH, 1999; DUCKWORTH *et al.*, 2002; EDER e ROTHERMUND, 2008; ELLIOT, 2008; PUCA *et al.*, 2006; VAN DANTZIG *et al.*, 2008; WENTURA *et al.*, 2000). De maneira geral, nesses estudos, os estímulos avaliados como positivos eram associados a comportamentos de aproximação (para manter o estímulo próximo); e os avaliados negativamente eram associados a comportamentos de esquiva (para manter o estímulo afastado). Chen e Bargh (1999), por exemplo, instruíram os participantes a moverem uma alavanca puxando-a (flexão do braço) ou empurrando-a (extensão do braço) em resposta à apresentação de palavras de valência positiva ou negativa. Os resultados mostraram que as respostas mais rápidas ocorriam nas situações congruentes, ou seja, movimento de flexão instruído junto com palavras positivas, ou movimento de extensão

instruído junto com palavras negativas. O contrário ocorria nas situações incongruentes: movimento de flexão junto com palavras negativas, ou movimento de extensão com palavras positivas. Esses autores sugeriram que a avaliação de estímulos emocionais resulta em predisposições a comportamentos específicos.

Parte desses estudos, entretanto, sugeriu que os comportamentos de aproximação e esquiva compreendem o planejamento de ações flexíveis, representadas em termos dos seus efeitos percebidos. Ou seja, a aproximação reduziria a distância até o estímulo e a esquiva aumentaria a distância, independente do movimento realizado. Para abordar essa questão, van Dantzig *et al.* (2008) realizaram um experimento onde os participantes tinham que julgar se palavras apresentadas eram emocionais ou neutras pressionando uma tecla específica. Portanto, as palavras que eram apresentadas na tela moviam de acordo com o valor emocional, aproximando (aumentavam de tamanho), quando positivas ou distanciando (diminuíam de tamanho), quando negativas. Os autores também descreveram respostas mais rápidas dirigidas a situações emocionais congruentes – aproximar palavras positivas e distanciar palavras negativas. Esses resultados sugerem que a apresentação de estímulos com conotação emocional interfere nas motivações comportamentais dos indivíduos, de maneira que independe do tipo de movimento que é realizado.

Outros trabalhos, porém, com o objetivo de entender a influência da emoção sobre o sistema motor, empregaram paradigmas experimentais variados, mediante a apresentação de figuras emocionais obtidas do catálogo IAPS (International Affective Picture System; Center for the Study of Emotion and Attention, 1988). O IAPS consiste em uma das formas mais amplamente empregadas no estudo das emoções em humanos. Esse catálogo compreende um grande arquivo de fotografias coloridas criado por Lang e colaboradores com o intuito de disponibilizar ferramentas abrangentes e de fácil

replicação para o estudo das emoções. As fotos que o compõem eram escolhidas de maneira que evocassem uma faixa extensa de reações emocionais envolvendo afetos com valências agradáveis, neutras e desagradáveis e que variassem no grau de ativação provocado (LANG *et al.*, 1988).

O efeito da emoção sobre o controle postural foi investigado a partir da indução de contextos emocionais propiciados pelas figuras do IAPS. Azevedo *et al.* (2005) e Facchinetti *et al.* (2006) avaliaram como a apresentação de figuras emocionais poderia modular as reações posturais em seres humanos. Para isso utilizaram a plataforma de força para registrar o deslocamento do centro de pressão corporal durante a observação de fotos emocionais contendo pistas apetitivas e defensivas. Azevedo *et al.* (2005) empregaram fotos agradáveis (cenas de esporte), desagradáveis (corpos mutilados) e neutras (cenas de objetos e utensílios). Facchinetti *et al.* (2006) também utilizaram corpos mutilados, porém como estímulos agradáveis usaram cenas de interação familiar e os neutros eram pareados aos conjuntos de fotos emocionais, ou seja, cenas de pessoas com expressões neutras. Em ambos os estudos, os autores relataram uma redução da área de oscilação corporal associada com uma bradicardia durante a exposição das fotos de mutilados, o que associaram a uma resposta de congelamento (*freezing*) que, de fato, poderia ser importante num contexto aversivo (AZEVEDO *et al.*, 2005; FACCHINETTI *et al.*, 2006).

Por outro lado, alguns estudos analisaram o efeito de contextos emocionais distintos sobre as respostas reflexas (BONNET *et al.*, 1995; BOTH *et al.*, 2003; BRADLEY e LANG, 2000; BRADLEY *et al.*, 1993). Por exemplo, Bradley *et al.* (1993) demonstraram que o reflexo de sobressalto, medido no músculo orbicular dos olhos em resposta a um estímulo acústico súbito, era potenciado quando os participantes viam estímulos desagradáveis e reduzido com a observação de estímulos agradáveis.

Both *et al.* (2003) relataram uma maior amplitude dos reflexos espinhais, quando os participantes observavam figuras agradáveis e desagradáveis comparadas às neutras.

Uma grande variedade de estudos endereçou a questão do efeito emocional sobre o sistema motor por meio da técnica de EMT durante a observação de estímulos emocionais (BAUMGARTNER *et al.*, 2007; COELHO *et al.*, 2010; HAJCAK *et al.*, 2007; OLIVERI *et al.*, 2003; SCHUTTER *et al.*, 2008). Hajcak *et al.* (2007), por exemplo, mediram a excitabilidade córtico-espinhal em participantes saudáveis, enquanto estes observavam figuras do IAPS que podiam ser agradáveis, neutras e desagradáveis. Pulsos únicos de EMT eram aplicados no córtex motor primário, durante a apresentação das figuras emocionais e, PEMs eram registrados do músculo abductor curto do polegar. Tanto a observação de figuras agradáveis quanto de figuras desagradáveis causou uma maior atividade córtico-espinhal relacionada às áreas motoras quando comparadas com as neutras. Igualmente, Schutter *et al.* (2008) propuseram que a observação de expressões faciais de medo aumentam seletivamente a excitabilidade do trato córtico-espinhal. Já Baumgartner *et al.* (2007) aplicaram pulsos únicos de EMT sobre o córtex motor primário, enquanto registrava a atividade do músculo abductor curto do polegar e observaram aumento da excitabilidade córtico-espinhal durante a apresentação de estímulos emocionais combinados (figura e música). Apesar de serem estímulos sensoriais diferentes, as valências emocionais eram sempre congruentes, ou seja, tanto a figura quanto a música eram de medo, tristeza ou de felicidade. Comparando as três categorias, a amplitude do PEM era maior quando os estímulos de medo eram combinados. Independente da categoria (medo, tristeza ou felicidade), quando os estímulos eram apresentados de forma separada, ou seja, apenas foto ou música, não houve qualquer efeito modulatório sobre a amplitude do PEM.

Recentemente, Coelho *et al.* (2010), também utilizando a apresentação de figuras do IAPS de diferentes categorias emocionais (agradáveis, desagradáveis e neutras), demonstraram, a partir da EMT sobre o córtex motor primário, que a amplitude dos PEMs do músculo primeiro interósseo dorsal da mão tinham amplitudes maiores durante a observação de figuras desagradáveis, quando comparado com as figuras agradáveis e neutras. Não houve diferença significativa entre as duas últimas categorias. Esse estudo foi o primeiro a demonstrar um efeito dissociado entre as valências agradável e desagradável sobre a excitabilidade córtico-espinhal, porém não foi observada diferença estatística entre a categoria agradável e a neutra. Dessa maneira, não é possível afirmar sobre a existência de um possível efeito específico para valência sobre excitabilidade córtico-espinhal com base nesses achados. Além disso, um ponto fundamental relacionado a esses os trabalhos é que o efeito da emoção sobre o sistema córtico-espinhal advém da avaliação passiva do sistema motor, visto que nenhuma tarefa motora foi empregada nos paradigmas experimentais.

1.3.2 Emoção e Preparação Motora

Emoções podem ser consideradas como predisposições para a ação, que resultam de adaptações fisiológicas e comportamentais a estímulos de caráter motivacional e com relevância biológica para o organismo (BRADLEY e LANG, 2000; FRIJDA, 2010; LANG, 1995). Assim, poderíamos supor que a própria avaliação emocional de um determinado estímulo poderia influenciar o estado de prontidão do indivíduo para executar um movimento subsequente. Alguns estudos já apresentaram evidências nessa direção.

Pereira *et al.* (2006) avaliaram como a observação de fotos emocionais (agradáveis, desagradáveis e neutras) poderia afetar o desempenho dos participantes em uma tarefa de tempo de reação. Essa tarefa consistia na detecção de um alvo que se seguia à apresentação das fotos emocionais que eram irrelevantes para a tarefa. Os resultados mostraram que os participantes eram mais lentos após a apresentação das fotos desagradáveis em comparação às neutras, porém mais rápidos após a apresentação das fotos agradáveis, também em relação às neutras (PEREIRA *et al.*, 2006). Em outro estudo do mesmo grupo, foi utilizado um paradigma muito similar, porém empregando a técnica de imageamento por ressonância magnética funcional, a partir da qual foi possível investigar as ativações cerebrais dos participantes durante a realização da tarefa. Neste estudo, os autores avaliaram se a interferência comportamental observada durante a apresentação de fotos desagradáveis, quando comparadas com as neutras poderia resultar da ativação diferencial de áreas corticais motoras. Os autores mostraram que, de fato, a execução da tarefa de detecção do alvo no contexto emocional desagradável, em comparação ao neutro, ocasionou um aumento na atividade em várias áreas cerebrais envolvidas no controle de movimentos, incluindo córtex motor primário, putâmen e o córtex cingulado médio (PEREIRA *et al.*, 2010).

Em uma série de experimentos realizados por Coombes e colaboradores (COOMBES *et al.*, 2006; COOMBES *et al.*, 2012; COOMBES *et al.*, 2009) o efeito da apresentação de figuras emocionais sobre a produção do movimento também foi investigado. Esses autores desenvolveram um paradigma, no qual os participantes deviam observar figuras agradáveis, neutras ou desagradáveis, e quando ouvissem um sinal sonoro, teriam que realizar uma extensão isométrica do punho e dedos. O movimento devia ser mantido até o apagar da figura, que ocorria em torno de 8s após a apresentação. Os autores relataram que a força média produzida pelos indivíduos era

maior durante a observação das figuras desagradáveis, quando comparada às outras categorias (COOMBES *et al.*, 2006). Em 2009, esses autores empregaram o mesmo paradigma, mas com o incremento de utilizar a aplicação de pulsos únicos de EMT sobre o córtex motor primário, de forma simultânea à apresentação da pista sonora. Neste caso, o som era apresentado cerca de quatro segundos após o início da apresentação das figuras. A amplitude dos PEMs coletados no músculo extensor dos dedos era maior quando os participantes viam fotos desagradáveis, em comparação às neutras. Não houve diferença entre as categorias agradável e neutra (COOMBES *et al.*, 2009). Além dessas evidências, esse grupo avaliou o envolvimento de regiões cerebrais durante a execução de uma tarefa de força entre os dedos indicador e polegar, após a apresentação de figuras agradáveis, desagradáveis e neutras. Esse estudo mostrou uma maior atividade e uma interação funcional dos córtices pré-frontal ventromedial e pré-motor ventral quando a produção de força era realizada no contexto emocional em relação ao neutro, independente da valência (agradável e desagradável) (COOMBES *et al.*, 2012).

van Loon *et al.* (2010) também avaliaram a modulação sobre a excitabilidade córtico-espinal durante a preparação motora. Eles realizaram um experimento em que os participantes tinham que avaliar a congruência entre dois símbolos ao mesmo tempo em que eram apresentados a uma seqüência de figuras da categoria agradável, neutra e desagradável retiradas do catálogo IAPS. Neste caso, os participantes recebiam pulsos de EMT sobre o córtex motor primário em cinco momentos distintos, a partir da apresentação dos símbolos ao lado de cada figura do IAPS até o momento da resposta. Estes símbolos podiam ser congruentes (círculo-círculo) ou incongruentes (círculo-quadrado). O registro dos PEMs do músculo flexor curto do polegar demonstrou maiores amplitudes durante a observação de figuras desagradáveis quando comparadas

com agradáveis e neutras, quando o pulso de EMT era aplicado no momento mais próximo do sinal para iniciar a resposta. Não houve diferença significativa entre a categoria agradável e neutra (VAN LOON *et al.*, 2010).

Em outra linha de evidências, Grecucci *et al.* (2009) estudaram o efeito da observação de estímulos aversivos na atividade cortical relacionada ao movimento. Eles exibiram fotos desagradáveis e neutras aos participantes na seguinte ordem de eventos: após cada figura um filme de uma mão vista como se espelhasse a mão do participante (terceira pessoa) era exibido. O filme iniciava-se com a mão numa postura estática e terminava com a mão em uma de duas posturas do dedo indicador: levantado ou como se estivesse teclando (abaixado). Após a apresentação desse vídeo, o participante deveria fazer o movimento de apertar uma tecla, e conforme o vídeo da mão que ele tivesse visto, esse movimento seria congruente ou incongruente com o mesmo. O tempo de reação e o potencial de prontidão tardio foram medidos. Este potencial é um marcador eletrofisiológico da preparação motora, evidenciado a 500 ms antes do início do movimento. Os participantes eram mais rápidos em responder quando o movimento da mão no vídeo era compatível com o movimento que eles tinham que realizar para os estímulos desagradáveis em relação aos neutros. A amplitude do potencial de prontidão tardio diferiu apenas na situação congruente, na qual a amplitude foi maior para o movimento precedido pela apresentação de figuras desagradáveis em relação às neutras, demonstrando assim um efeito do contexto desagradável na preparação para um movimento (GRECUCCI *et al.*, 2009). Apesar disso, como Grecucci *et al.* (2009) não incluíram a apresentação da categoria agradável, não é possível afirmar que o efeito durante a preparação motora descrito por esses autores, seja específico da valência ou da ativação emocional.

Albert *et al.* (2010) também avaliaram se o contexto emocional poderia modular ondas corticais em uma tarefa de tempo de resposta. Para isso registraram potenciais relacionados a eventos acionados com a inibição de uma resposta, ou seja, o P3 e o N2. Os potenciais P3 e N2 são tipicamente medidos em paradigmas de tempo de resposta que envolve tanto a execução (condição *Go*), quanto à inibição (condição *Nogo*) de uma resposta motora. Em geral, amplitudes maiores de ambos os potenciais são obtidas na condição *Nogo*, sendo o P3 entre 300-500 ms e o N2 entre 200-400 ms após a apresentação de um estímulo. Diferentes figuras positivas, neutras e negativas eram apresentadas aos participantes, indicando o início da tarefa. Logo em seguida (cerca de 200 ms), era apresentado um sinal que, ora indicava que uma resposta (pressionar um botão) deveria ser feita (condição *GO*), ora que essa resposta não deveria ser feita (condição *Nogo*). Quando a resposta era inibida, as amplitudes dos potenciais medidos em regiões fronto-centrais eram maiores. Porém, isto foi especialmente notado durante o contexto de observação de figuras positivas em relação às negativas. Os resultados desse estudo sugeriram que a maior atividade inibitória registrada no contexto positivo refletiu uma maior mobilização de recursos inibitórios, que se faz necessário para reter a resposta até o momento apropriado. A justificativa para tal efeito seria de que no contexto positivo inibir a resposta poderia ser bem mais difícil e, por isso necessitaria de um controle inibitório maior do que no contexto negativo (ALBERT *et al.*, 2010).

Apesar da existência desses estudos envolvendo preparação motora em um contexto emocional, nenhum deles, no entanto, teve como foco as modificações que podem ocorrer no sistema motor nos casos em que o indivíduo tenha que interagir diretamente com estímulos emocionais reais.

Em um estudo pioneiro que nós desenvolvemos em nosso laboratório (OLIVEIRA *et al.*, 2012) (ANEXO I), o potencial de prontidão foi registrado enquanto

participantes eram orientados a realizar um movimento de preensão dirigido a estímulos emocionais (agradáveis, desagradáveis e neutros). Os estímulos eram apresentados e após 3 s, aproximadamente, os participantes tinham que pegá-los, trazer para próximo do corpo e depois retornarem os estímulos e membro para a posição inicial. Os resultados mostraram que o movimento de preensão dirigido ao estímulo agradável foi precedido por uma redução da amplitude do potencial de prontidão, quando comparado com o neutro, enquanto que o movimento de preensão dirigido ao estímulo desagradável foi precedido por um aumento da amplitude o potencial de prontidão. A partir desses resultados, sugerimos que o menor potencial de prontidão precedendo a interação com estímulos agradáveis poderia implicar no recrutamento automático de repertórios motores (GRAZIANO, 2006). Já a maior amplitude encontrada para os estímulos desagradáveis poderia emergir do conflito entre a ação requerida e o seu conteúdo aversivo. Esta foi à primeira evidência de que a preparação para um movimento voluntário pode ser afetada pelo valor emocional do estímulo.

Contudo o potencial de prontidão provavelmente reflete uma atividade preparatória difusa, representada pelo recrutamento de várias áreas corticais envolvidas no planejamento das ações (CUNNINGTON *et al.*, 2003). Nesse sentido, uma questão que permeia o presente estudo é: qual seria a participação, por exemplo, do córtex motor primário, área onde ocorre a confluência da atividade gerada em outras regiões do circuito motor (DAVARE *et al.*, 2009), durante o planejamento de ações dirigidas a objetos emocionais? Em outras palavras, qual seria o efeito da emoção sobre o controle do início de um movimento?

2 OBJETIVO

O presente estudo visa contribuir para o entendimento de como a preparação motora, que reflete parte do mecanismo de planejamento das ações, é modulada pela valência emocional dos estímulos com os quais se tem que interagir. O objetivo específico desse estudo consiste em avaliar se a excitabilidade córtico-espinhal seria modulada pela valência emocional de um estímulo durante a preparação para a preensão manual desse mesmo estímulo. Testaremos a hipótese de que a valência emocional do estímulo possa modular a amplitude do PEM dos músculos envolvidos na ação distintamente.

Oliveira e colaboradores (2012) mostraram que o conteúdo emocional de um estímulo exerce influência na atividade cortical que antecede um ato motor voluntário. Contudo, a participação dos sistemas mais diretamente envolvidos com o controle da execução motora, tal como a via córtico-espinhal, não pôde ser explicitada. Assim, o presente experimento visa contribuir para o esclarecimento do efeito da emoção sobre a fase de preparação da ação, investigando de maneira específica a modulação exercida pelo conteúdo emocional de um estímulo sobre o sistema córtico-espinhal, por meio da estimulação magnética transcraniana aplicada sobre o córtex motor primário. Se esse tipo de modulação for evidenciado reforçaremos a hipótese de que a emoção influencia o sistema motor.

3 METODOLOGIA

Este estudo foi aprovado pelo comitê de ética em pesquisa do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho (CEP n.º 228/09).

3.1 Seleção dos Estímulos Emocionais

Inicialmente, sessenta objetos que supostamente poderiam evocar algum tipo de reação emocional foram selecionados e colocados dentro de copos de vidro cilíndricos e transparentes. Os copos foram usados para permitir a homogeneidade da preensão manual que o participante deveria fazer para segurar e movimentar o copo no experimento com EMT. Este procedimento foi fundamental, uma vez que o tipo de objeto a ser manipulado, ou melhor, objetos de tamanhos e formas muito diferentes, recrutam de modo diferente a atividade dos músculos da mão e geram, conseqüentemente, modulação distinta sobre a excitabilidade córtico-espinal durante a preparação motora (CATTANEO *et al.*, 2005). O objeto e o copo serão referidos como estímulo, ao longo de todo o texto.

3.1.1 Relato Avaliativo I

Em uma sessão comportamental, vinte e seis alunos de graduação da Universidade Federal do Rio de Janeiro realizaram a categorização dos estímulos previamente selecionados. Todos os participantes eram do sexo masculino e, com idades variando de 18 a 35 anos.

A categorização dos estímulos foi feita por meio do emprego de um relato avaliativo seguindo o mesmo procedimento e metodologia empregados por Lang e colaboradores (1988) para as figuras do catálogo IAPS. A instrução empregada na classificação dos estímulos está no Anexo 2.

Para a avaliação das figuras desse catálogo foi empregado o *Self-Assessment Manikin* (SAM) (Figura 7): sistema de avaliação que também foi usado no presente estudo. Neste sistema, as pontuações de valência são indicadas por uma representação de expressões faciais em um boneco, variando de triste a sorridente. Para a ativação, a aparência dos bonecos varia de um estado de baixa para um de alta agitação. O participante deve escolher que ponto da escala (bonecos ou caixas entre eles) melhor representa seu estado ao observar o estímulo apresentado, numa escala de nove pontos para cada dimensão. Posteriormente, para calcular as médias das avaliações conferidas à dimensão valência, atribui-se ao estado extremo da agradabilidade o valor 9, depois valores decrescentes até o extremo da desagradabilidade para o qual se atribui o valor 1. Para a dimensão ativação emocional, atribui-se ao estado de alta ativação o valor 9 até o estado de calma e relaxamento para o qual se atribui 1.

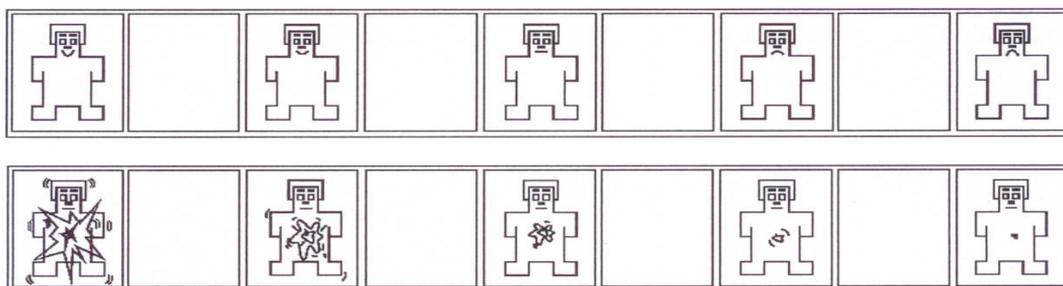


Figura 7: Escalas para avaliação da valência (superior) e ativação (inferior). Adaptado de Lang *et al.* (1988).

Para a avaliação dos estímulos, os participantes sentavam-se em uma cadeira de frente para uma mesa sobre a qual os estímulos seriam apresentados um de cada vez, por um experimentador sentado atrás de uma cortina preta. Cada estímulo era apresentado por seis segundos. Uma campainha tocava indicando que o participante deveria pegar o estímulo, olhar para ele e recolocá-lo sobre a mesa. Depois disso, o estímulo era retirado e outra campainha soava indicando que o indivíduo, munido de uma esferográfica e um bloco-resposta contendo as escalas de valência e ativação e a numeração dos estímulos, deveria avaliar aquele estímulo. Na sua avaliação o participante deveria levar em consideração como ele se sentiu ao ter segurado aquele estímulo. Ele dispunha de 10 segundos para isso. Após esse tempo, um novo estímulo era apresentado. O mesmo procedimento foi repetido até que todos os estímulos tivessem sido avaliados. Foram incluídos nessa avaliação, além dos 60 estímulos usados, 6 outros estímulos extras, usados apenas para uma sessão de treinamento prévio.

3.1.2 Análise dos dados

A média das pontuações de valência e ativação atribuídas pelos participantes foi calculada para cada estímulo nas duas dimensões emocionais. A partir da pontuação obtida na dimensão valência, cada estímulo era agrupado em uma categoria – agradável, desagradável ou neutro. E ainda, a partir da pontuação obtida na dimensão ativação, os estímulos agradáveis e desagradáveis eram classificados como sendo os estímulos com maior grau de ativação, em relação aos neutros.

Uma análise de variância (ANOVA) para medidas repetidas das médias das pontuações dadas a cada estímulo foi empregada com o objetivo de verificar o efeito

principal para valência e ativação. O pós-teste de *Fisher's LSD* foi utilizado, quando um nível de significância foi obtido.

3.2 Medida do Potencial Evocado Motor

3.2.1 Amostra

Dezessete participantes realizaram o experimento. Todos os participantes eram estudantes de graduação e pós-graduação da Universidade Federal do Rio de Janeiro, do sexo masculino, destros, com idade entre 21 e 36 anos. Eles foram convidados a participar do experimento nas salas de aula, nos laboratórios e através da divulgação por cartazes.

Os critérios de exclusão foram: ser canhoto conforme o índice dado pelo questionário de lateralidade de Edinburgh (OLDFIELD, 1971) (ANEXO 3), apresentar qualquer contra-indicação para aplicação da técnica de Estimulação Magnética Transcraniana (EMT) (ANEXO 4) (WASSERMANN, 1998), ser portador de distúrbios neurológicos, ortopédicos ou musculares, usuário de substâncias que provocam alterações funcionais do sistema nervoso.

3.2.2 Desenho Experimental

Ao chegar ao local do experimento, o participante recebia as instruções por escrito e, se concordasse, assinava um termo de consentimento (ANEXO 5). A seguir, o questionário de lateralidade - *Edinburgh Handedness Inventory* (OLDFIELD, 1971) foi aplicado para cada participante a fim de confirmar a dominância manual de cada um.

Em seguida, o participante era conduzido a uma sala bem iluminada e de temperatura amena. Lá se sentava numa poltrona confortável e uma breve descrição do experimento, incluindo uma demonstração do pulso da EMT foi feita. Depois, um protetor auricular foi colocado em cada um dos canais auditivos do participante, com o objetivo de atenuar o som causado pelo disparo da EMT. Uma touca com pontos de referência foi posicionada na cabeça do participante, a qual permitia ao experimentador guiar a posição da bobina durante o procedimento de EMT.

À frente do local onde o participante ficava sentado havia uma mesa (Figura 8). Nesta, ele posicionava o membro superior esquerdo e os estímulos foram apresentados, por meio de um aparato de madeira posicionado em um local pré-determinado. Os estímulos foram apresentados de forma aleatória por um experimentador que ficava sentado atrás da mesa. O local onde o experimentador ficava e a mesa foi ocluído por uma cortina preta. No aparato de madeira havia um espaço para colocação dos copos, onde foi possível encaixar cada estímulo e deslizá-los em direção ao participante. O movimento deste aparato foi controlado pelo experimentador durante todo o experimento, que trocava o estímulo após cada tentativa. Um vídeo ilustrando a tarefa realizada pelos participantes durante o experimento está disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=c4qJbMDLrNQ>.

O início das tentativas foi marcado pela chegada do estímulo, o qual ativava a contagem de 3 segundos. Após este tempo, uma luz vermelha colocada à frente e, centralmente ao estímulo, se acendia. Esse evento foi usado como sinal para que o participante desempenhasse a sua tarefa.

O experimento todo foi dividido em quatro blocos, incluindo duas condições distintas. Assim, dois blocos pertenciam à condição AÇÃO e dois à condição NÃO-AÇÃO (Figura 9). Nos blocos da condição AÇÃO, o participante deveria observar cada

estímulo até o acender da luz vermelha. Neste momento, ele deveria pegar o estímulo o mais rápido possível com a mão esquerda, aproximá-lo do seu corpo, colocar o estímulo sobre a mesa e recolocar sua mão na posição inicial, pré-determinada (Figura 10). Nos blocos da condição NÃO-AÇÃO, o participante deveria apenas observar cada estímulo, mesmo após o acendimento da luz. A instrução dada aos participantes durante o experimento está apresentada no Anexo 6.

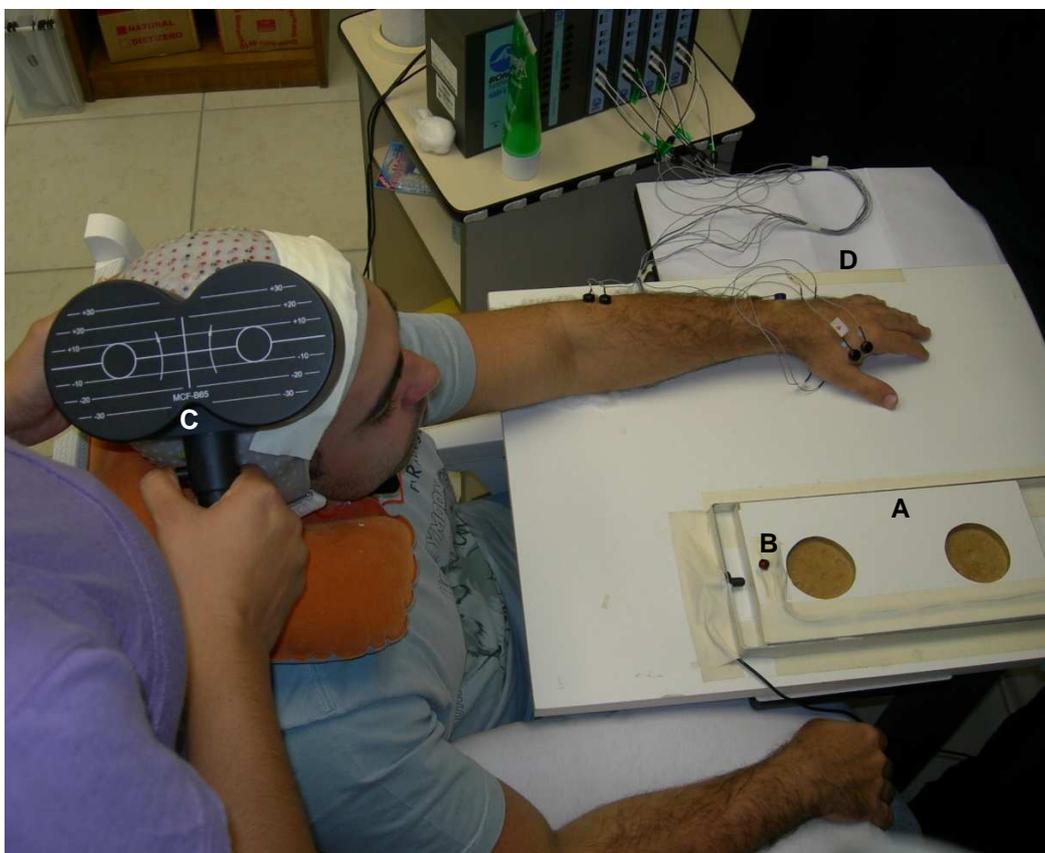


Figura 8: Desenho experimental. O participante se sentava numa poltrona confortável, em frente a uma mesa, onde o estímulo foi apresentado, por meio de um aparato de madeira (A) adaptado para o copo usado no experimento. À frente desse aparato foi posicionada uma luz (B), cujo acendimento indicava o início de cada tentativa. A bobina (C) foi posicionada sobre a região cortical do escalpo correspondendo aproximadamente ao córtex motor. O posicionamento foi feito pelo experimentador, que se guiava por meio de uma touca com pontos de referência. A aquisição do sinal do EMG (D) de músculos da mão e do antebraço foi realizada.

Para cada condição foram apresentados dois blocos contendo todos 42 estímulos (14 agradáveis, 14 neutros e 14 desagradáveis) (*ver item 4.1, para estímulos selecionados*). Cada estímulo foi apresentado uma vez em cada bloco de maneira aleatorizada entre as categorias, somando 42 tentativas em cada bloco. A ordem de apresentação dos estímulos foi obtida por meio de uma programa de sorteio desenvolvido em *MatLab 6.5*. Uma ordem foi feita para cada participante, garantindo assim a exclusão de um possível efeito de ordem tanto da condição quanto da categoria do estímulo.

Um pulso de EMT foi aplicado 500 ms ou 250 ms antes do acendimento da luz vermelha (2500 e 2750 ms após o aparecimento do estímulo, respectivamente). Em cada bloco, a metade dos estímulos estava associada ao pulso de EMT a 2500 ms e a outra metade ao pulso de EMT a 2750 ms após a sua apresentação. O pulso de EMT foi aplicado em dois momentos distintos com objetivo de investigar a possível existência de uma modulação temporal, valência-específica.

No início de cada bloco, o participante recebia uma instrução sobre a condição que deveria executar subsequente. No final de cada bloco, os participantes tinham aproximadamente 3 s de descanso, durante o qual foram dadas, novamente, instruções sobre o bloco seguinte. No final do quarto bloco, todos os participantes tinham que avaliar cada um dos estímulos.

Todos os participantes passaram por uma sessão de treinamento de cerca de 10 minutos antes do experimento. Esta sessão incluiu tanto a condição AÇÃO quanto a NÃO-AÇÃO. Para isso, três estímulos, sendo um de cada categoria emocional e, que não foram utilizados durante o experimento, foram utilizados durante o treinamento,

A duração total do experimento foi de uma hora e meia, aproximadamente.

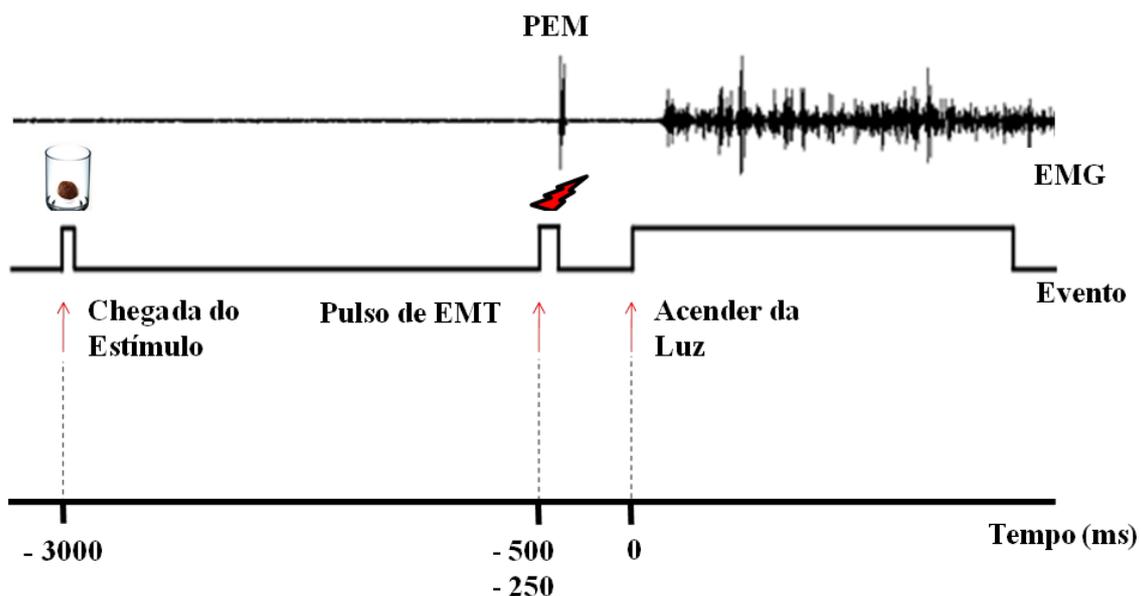


Figura 9: Representação da sequência temporal do experimento em relação aos eventos. O início das tentativas era marcado pela chegada do estímulo, o qual ativava a contagem de 3 segundos, quando uma luz vermelha se acendia. Em 2750 ou 2500 milissegundos após a chegada do estímulo, um pulso de EMT era disparado. Notar o momento dos eventos do experimento, e relação com o sinal de eletromiografia, onde pode ser evidenciado o sinal correspondente ao potencial evocado motor (PEM) logo após o momento do disparo do pulso. Após o sinal resposta, o início da resposta é indicado pela mudança de atividade eletromiográfica de base.

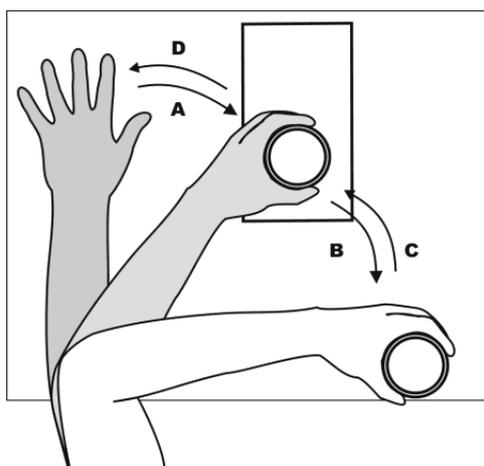


Figura 10: Movimentos da condição AÇÃO do experimento. A) Pegar estímulo; B) Trazê-lo na direção do tronco; C) Recolocar o estímulo no lugar; D) Recolocar a mão sobre a mesa.

3.2.3 Aquisição do Sinal Eletromiográfico

Os sinais de eletromiografia (EMG) foram registrados usando três pares de eletrodos de Ag-AgCl com uma montagem bipolar. Estes eletrodos foram colocados sobre o ventre dos músculos primeiro interósseo dorsal (PID), abductor curto do dedo mínimo (ACM) e extensor do punho, do membro superior esquerdo (Figura 11).

A atividade do EMG foi registrada usando um módulo de aquisição EMG100c acoplado ao amplificador MP150 (BIOPAC Systems Inc, Goleta CA, USA) e armazenado em um computador para análise *offline*. Estes eletrodos foram cobertos com gel condutor. Além disso, um eletrodo terra Ag-AgCl foi posicionado sobre o processo estilóide da ulna. Os dados foram adquiridos com uma taxa de amostragem de 20.000 Hz e filtrados com um passa-banda entre 10 e 5000 Hz.

O dado representativo referente ao sinal do registro eletromiográfico dos músculos PID e ADM de um participante pode ser visto na figura 12.

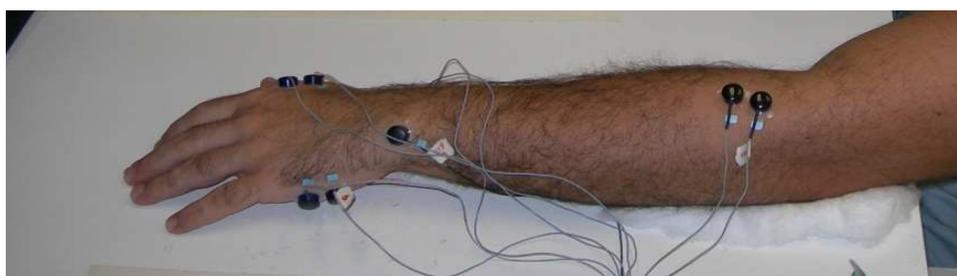


Figura 11: Posicionamento dos eletrodos.

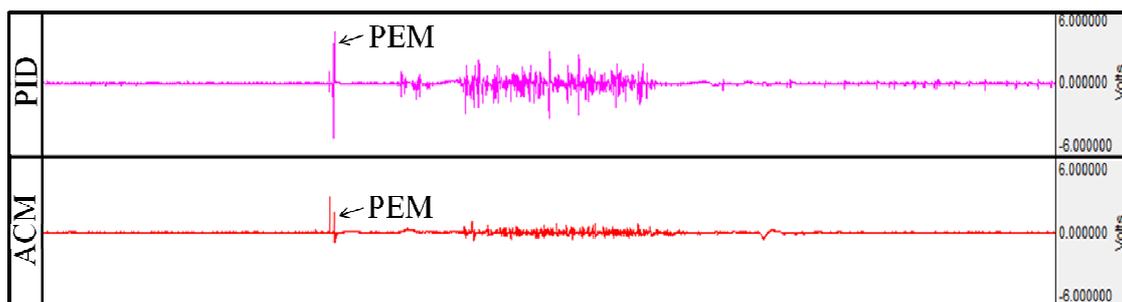


Figura 12: Sinal do registro eletromiográfico dos músculos primeiro interósseo dorsal (PID) e abductor curto do dedo mínimo (ACM). Esse sinal foi obtido durante uma tentativa realizada na condição AÇÃO por um dos participantes. PEM = potencial evocado motor.

3.2.4 Localização do Córtex Motor Primário pela Estimulação Magnética Transcraniana

Para a aplicação da EMT de pulso único e aquisição dos PEMs, pulsos magnéticos foram aplicados na área de representação da mão, na região do escalpo correspondendo ao córtex motor primário através de um estimulador magnético (MagPro R30[®], MagVenture). Para isso, foi empregada uma bobina em “formato de 8” (modelo MCF-B65, MagVenture), que permite uma ativação cortical bem focal. A bobina foi posicionada sobre o escalpo direito usando a orientação dos pontos fixos com uma resolução de 1 cm presentes na touca colocada na cabeça de cada participante. Esta foi posicionada em relação às referências anatômicas (násio, ínon e orelhas direita e esquerda), de acordo com o protocolo do sistema 10-20. A posição referente ao local onde a estimulação foi realizada para cada participante está representada na tabela 1 e no Anexo 7.

Para identificação do ponto ótimo de estimulação (*hot spot*) do músculo alvo (PID), pulsos supra limiares capazes de evocar uma contração visível foram aplicados na região do córtex motor primário a fim de se identificar a localização aproximada da

representação desse músculo. Por definição o córtex motor primário é a região cortical de menor limiar de ativação (DAVARE *et al.*, 2009). O posicionamento da bobina foi então otimizado pela liberação de pulsos, enquanto que PEMs foram monitorados por meio de um programa desenvolvido em *LabView 6.0 (National Instruments, USA)*, que permitia o cálculo da amplitude pico-a-pico em tempo real. O ponto ótimo de estimulação foi definido como o local onde se obteve a maior amplitude média dos PEMs registrados, com a menor intensidade do aparelho. A intensidade foi então ajustada para valores adequados e foram aplicados pulsos em diferentes posições do escalpo, em torno do sítio onde se obteve um PEM, garantindo assim que a bobina foi posicionada na área referente ao córtex motor primário.

O limiar motor do músculo PID, usado como referência, foi definido como a intensidade de estimulação necessária para evocar PEMs maiores que 100 μ V do EMG de base, em pelo menos 50% dos estímulos aplicados, como sugerido por Rothwell *et al.*, (1999).

Nesse estudo, utilizamos aplicações de pulsos únicos com intensidades de 120% do limiar motor do PID que foram aplicados no ponto ótimo deste, com intervalos entre pulsos de 6-10 segundos. Durante todo experimento, a bobina foi sustentada manualmente, orientada paralelo ao plano sagital, e tangencialmente em relação ao escalpo do participante.

| Participantes | Coordenadas cartesianas referentes ao local de aplicação do pulso de EMT(cm) | Distância em centímetros calculada a partir de Cz |
|----------------------|---|--|
| 01 | (2,7) | 7,28 |
| 02 | (1,5) | 5,09 |
| 03 | (4,5) | 6,4 |
| 04 | (2,6) | 6,32 |
| 05 | (2,7) | 7,28 |
| 06 | (2,7) | 7,28 |
| 07 | (2,7) | 7,28 |
| 08 | (3,6) | 6,71 |
| 09 | (2,7) | 7,28 |
| 10 | (1,6) | 7,08 |

Tabela 1. Posição referente ao local de aplicação do pulso de EMT. As coordenadas foram calculadas supondo que o ponto Cz corresponda à coordenada (0,0). O ponto representado na coordenada x refere à distância ao longo do eixo ântero-posterior e na coordenada y no eixo médio-lateral a partir de Cz.

3.2.5 Medida do Tempo de Resposta

A medida do tempo de resposta (TR) foi feita entre o momento em que se registrava o acendimento da luz vermelha (sinal para iniciar o movimento) e o início do movimento executado por cada participante (Figura 13), o qual foi detectado pela mudança da atividade do EMG do músculo extensor do punho.

O programa de análise do TR foi desenvolvido em MatLab 7.5 (Mathworks, EUA). Este permitiu a identificação do início do movimento, calculado como sendo cinco por cento da variação máxima do sinal, em relação ao sinal eletromiográfico de base. A janela de análise foi de $-0,1$ a 2 segundos a partir do pulso de EMT.

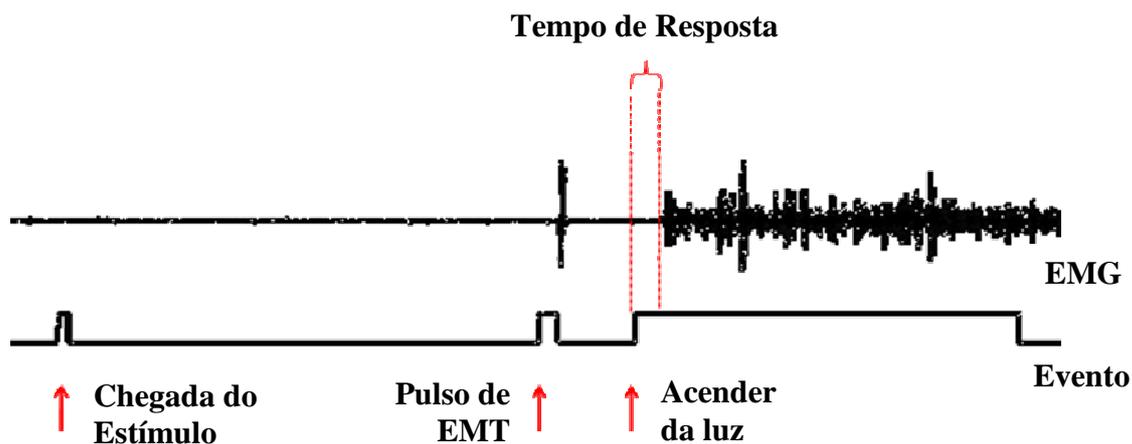


Figura 13: EMG do músculo extensor comum dos dedos, com os marcadores dos eventos presentes no experimento. Notar o tempo de resposta medido entre o acender da luz e o início do movimento dado pela mudança de atividade do EMG do músculo extensor do punho.

3.2.6 Relato Avaliativo II

Os estímulos usados durante o experimento de EMT foram avaliados pelos participantes ao final da sessão experimental. Todos os estímulos foram novamente apresentados, e os participantes os classificaram seguindo o mesmo procedimento empregado para sua seleção. Para essa avaliação, as escalas de valência e ativação emocional (*Self-Assessment Manikin - SAM*) foram empregadas.

3.2.7 Análise dos Dados

O PEM foi quantificado *off-line* com um algoritmo construído em *Matlab 6.5* (Mathworks, EUA), software que detectava a latência e o valor pico a pico (PP) da amplitude da resposta máxima no EMG. Para garantir que o participante estivesse em repouso antes da liberação dos pulsos de EMT, o sinal eletromiográfico foi inspecionado visualmente e, se houvesse aumento da atividade durante o período entre o início da EMT e o início do PEM, aquela tentativa era descartada.

Para a verificação de valores *outliers* na amostra foram calculados dois desvios padrão em relação à média para a latência e amplitude PP de cada participante, nas condições AÇÃO e NÃO-AÇÃO para cada bloco. No caso em que, os valores *outliers* foram identificados (valores superiores ou inferiores ao adotado como ponto de corte), os mesmos foram removidos da amostra.

A partir disso, os valores de amplitude PP dos PEMs restantes foram organizados de acordo com a condição, AÇÃO e NÃO-AÇÃO, para cada participante. Em seguida, os valores de amplitude PP dos PEM's foram normalizados por meio da aplicação da seguinte fórmula: $(\text{PEM} - \text{PEM mínimo}) / (\text{PEM máximo} - \text{PEM mínimo})$. Esse procedimento foi feito para cada tentativa, em cada um dos blocos e em cada condição. Por fim, foi obtido um valor médio dos PEMs por participante, em cada condição (AÇÃO e NÃO-AÇÃO) e para cada categoria emocional. Análises de variância (*Tree-way* ANOVA) para medidas repetidas para cada músculo (PID e ADM) foram usadas para acessar as diferenças entre valores médios da amplitude PP dos PEMs dos participantes nas condições experimentais. Pós-testes de *Fisher's LSD* foram empregados quando o nível significância foi atingido ($p \leq 0,05$). Nos casos de múltiplas comparações foi empregada a correção de Bonferroni.

Na análise do TR, apenas os blocos da condição AÇÃO foram usados. Inicialmente, todos os valores negativos, os quais indicavam que o participante havia movido o membro antes do sinal resposta foram considerados erros e removidos da amostra. Em seguida, *outliers* foram calculados e todos os valores superiores e inferiores a dois desvios padrão da média do tempo de resposta por participante também foram removidos da amostra. Uma análise de variância (*Two-way ANOVA*) foi utilizada para identificar possíveis diferenças no TR, considerando como fatores os momentos de aplicação do pulso (2500 e 2750 ms) e as valências (desagradável, neutra e agradável). Essa análise não revelou interação [$F(2, 18)=0,20, p=0,82$] e, por isso os valores referentes aos diferentes momentos foram analisados juntamente. Assim, um valor médio entre os momentos de pulso foi obtido após a análise final dos *outliers*. Uma ANOVA para medidas repetidas foi aplicada para identificação de possíveis diferenças estatísticas no TR de acordo com as categorias emocionais. Além disso, esses dados do TR foram normalizados por meio de uma transformação logarítmica na base 10 e uma ANOVA para medidas repetidas foi empregada.

A taxa de erros dos participantes para os blocos da condição AÇÃO também foi calculada. Para isso o percentual de erros de cada um dos participantes por categoria emocional foi computado, considerando como erro todas as tentativas em que os participantes moviam antes do sinal para iniciar a resposta, ou seja, antes de 0 ms. Uma ANOVA para medidas repetidas foi aplicada.

O programa *Statistica 7* foi utilizado para realizar a análise estatística de todos os dados e o nível de significância (α) adotado foi de 0,05 para a medida do TR e para a avaliação dos estímulos usados no experimento. No caso de significância estatística ter sido encontrada na ANOVA, o pós-teste selecionado foi o teste de *Fisher's LSD*.

4 RESULTADOS¹

4.1 Relato Avaliativo I: Seleção dos Estímulos

Um total de quarenta e dois estímulos foi selecionado. Destes, quatorze estímulos foram classificados como de valência mais desagradável, outros quatorze como agradáveis, e os quatorze restantes considerados neutros (ANEXO 8).

A distribuição em um espaço bidimensional dos valores relacionados à classificação dos estímulos que foram definidos *a priori* como sendo capazes de evocar algum tipo de reação emocional está apresentada na Figura 14. Nesta, pode ser também notado a distribuição do relato avaliativo das figuras do catálogo IAPS. A clássica distribuição em bumerangue descrita por Lang *et al.* (1988) sugere que estímulos visuais emocionalmente relevantes podem ter ampla variedade de combinações entre suas pontuações de valência e ativação, compreendendo assim todo o espaço emocional. É possível avaliar a semelhança na distribuição dos estímulos empregados no presente estudo, com o estudo de Lang e colaboradores (1988), mesmo havendo diferenças claras entre os dois. Estas referem tanto ao número de estímulos, que no presente experimento é muito menor, assim como ao tipo de estímulo, ou seja, copos contendo objetos emocionais, ao contrário de figuras.

A análise de variância para medidas repetidas revelou um efeito principal para valência [$F(2, 50)=174,72, p<0,001$]. O pós-teste de *Fisher's LSD* indicou que as avaliações de valência dos estímulos considerados agradáveis foram significativamente maiores (média de $7,36 \pm 0,63$) e dos desagradáveis foram significativamente menores ($3,21 \pm 0,52$) do que as pontuações da valência dos estímulos considerados neutros

¹ Os resultados desse estudo como um todo compõem o manuscrito (ANEXO 09) que foi submetido para o periódico *Cerebral Cortex*.

($5,04 \pm 0,22$), com $p < 0,01$. Além disso, houve um efeito principal para o grau de ativação emocional atribuído aos estímulos [$F(2, 50) = 39,56$, $p < 0,001$]. As avaliações do grau de ativação não diferiram para estímulos desagradáveis e agradáveis ($4,51 \pm 0,58$ e $5,00 \pm 0,79$, respectivamente) ($p = 0,43$), mas ambas foram significativamente maiores que para os neutros ($1,85 \pm 0,31$), com $p < 0,01$. Para esses resultados, ver a Figura 15.

Além da categorização emocional, os estímulos foram selecionados com base no peso. É sabido que a observação do movimento de preensão de objetos com pesos diferentes pode ocasionar efeitos distintos nas amplitudes dos potenciais evocados motores (ALAERTS *et al.*, 2010). Como o peso diferente, pode por si só, modular a excitabilidade córtico-espinhal durante a fase de preparação motora, o peso dos três grupos de estímulos foi mantido dentro de uma faixa aproximada para as diferentes categorias: desagradáveis ($315,4 \pm 60,8g$); agradáveis ($319,2 \pm 43,49g$) e neutros ($290,4 \pm 59,11g$), [$F(2,24) = 1,0762$, $p = 0,37$].

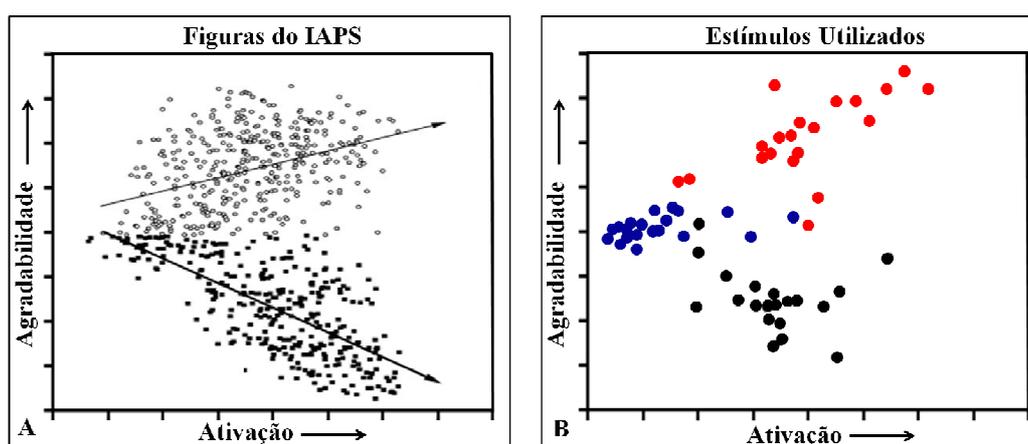


Figura 14: Relato Avaliativo. Em A, a distribuição do relato avaliativo, de aproximadamente 700 figuras, feita por 1000 participantes para compor o catálogo IAPS (Lang *et al.*, 1988). Em B, a distribuição do relato avaliativo, feita pelos 27 participantes, dos 60 estímulos. Estímulos agradáveis (vermelho), neutros (azul) e desagradáveis (preto). Para ambos, o eixo x representa o grau de ativação emocional e o eixo Y o grau de valência.

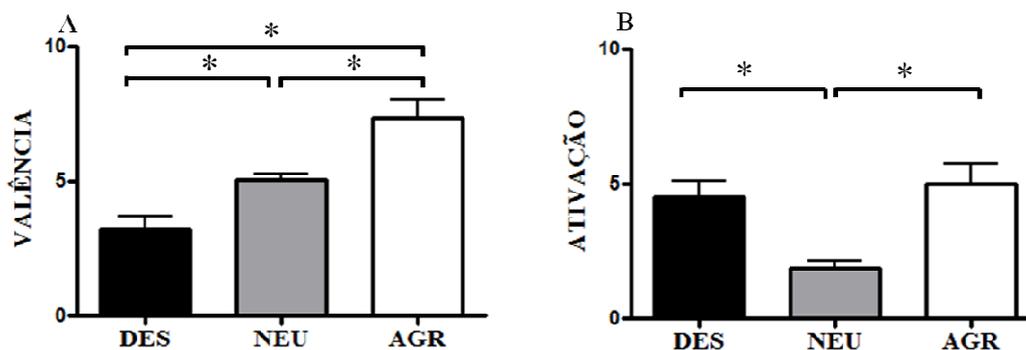


Figura 15: Pontuação média dos 42 estímulos selecionados. A) Média das valências, com maiores pontuações representando estímulos mais agradáveis e menores pontuações representando os estímulos desagradáveis. Notar que os valores de valência são diferentes para cada categoria. B) Graus de ativação emocional semelhantes foram obtidos entre os estímulos agradáveis e desagradáveis, ambos diferindo dos neutros. Média e erro padrão da valência e ativação. DES= desagradável; NEU= neutro e AGR= agradável. * $p < 0.01$.

4.2 Potencial Evocado Motor

Dos dezessete participantes recrutados para o experimento de EMT, seis tiveram os dados eliminados da amostra em função de problemas técnicos, principalmente relacionados com a aquisição do sinal de EMG. Além destes, os dados de um participante foram eliminados em função do número alto de erros apresentado, durante a realização da tarefa. Nesse caso, a taxa de erros foi duas vezes a soma dos erros de todos os demais participantes juntos.

A representação dos PEMs por condição (AÇÃO ou NÃO-AÇÃO) e valência (desagradável, neutro e agradável) para um dos participantes pode ser vista na figura 16. Nos Anexos 10 e 11 estão a representação completa dos PEMs para todos participantes do experimento de EMT.

Uma análise de variância de quatro fatores para medidas repetidas (*Four-way ANOVA*) considerando como fatores a condição (AÇÃO ou NÃO-AÇÃO), a valência (desagradável, neutro e agradável), músculos (PID e ADM) e o momento de aplicação

do pulso de EMT (2500 e 2750 ms) revelou uma interação entre condição x valência x músculo [$F(2, 18) = 5,97, p = 0,01$]. Como não houve interação significativa com o momento de aplicação do pulso [$F(2,18) = 0,37, p = 0,70$], a média entre os dois momentos (2500 e 2750 ms) de aplicação do pulso foi computado e uma análise de variância de três fatores foi conduzida. Esta revelou uma interação entre condição x valência x músculo [$F(2, 18) = 5,97, p = 0,01$]. Para identificar a direção do efeito de acordo com o músculo, uma *Two-way* ANOVA por músculo foi realizada considerando a condição (AÇÃO ou NÃO-AÇÃO) e a valência (desagradável, neutro e agradável) como fatores. A análise para o músculo PID revelou um efeito principal de condição [$F(1, 9) = 5,21; p = 0,05$], de valência [$F(2, 18) = 3,51; p=0,05$] e uma interação entre condição x valência [$F(2, 18) = 8,15, p = 0,003$]. Em seguida, uma análise de comparações planejadas (*Planned comparisons*) foi empregada para dissociar os efeitos entre as valências por condição. Para o músculo PID na condição AÇÃO, essa análise indicou que a amplitude dos PEMs foi maior durante a preparação para o movimento de preensão dos estímulos desagradáveis ($p = 0,0002$) e agradáveis ($p = 0,02$) em relação aos neutros. Além disso, a amplitude dos PEMs durante a preparação para o movimento de preensão dirigido aos estímulos agradáveis foi menor em comparação ao neutro ($p = 0,04$). Na condição NÃO-AÇÃO não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre as valências ($p \geq 0,05$). Para o ADM foi encontrado uma tendência de efeito principal para condição [$F(1, 9) = 4,71; p = 0,06$], porém não houve efeito principal de valência [$F(2, 18) = 2,05; p = 0,16$] e nem interação entre condição x valência [$F(2, 18) = 0,28, p = 0,76$]. Os valores médios do PEM por valência estão representados nas tabelas 2 e 3 e os resultados dos músculos PID e ADM representados nas figuras 17 e 18, respectivamente.

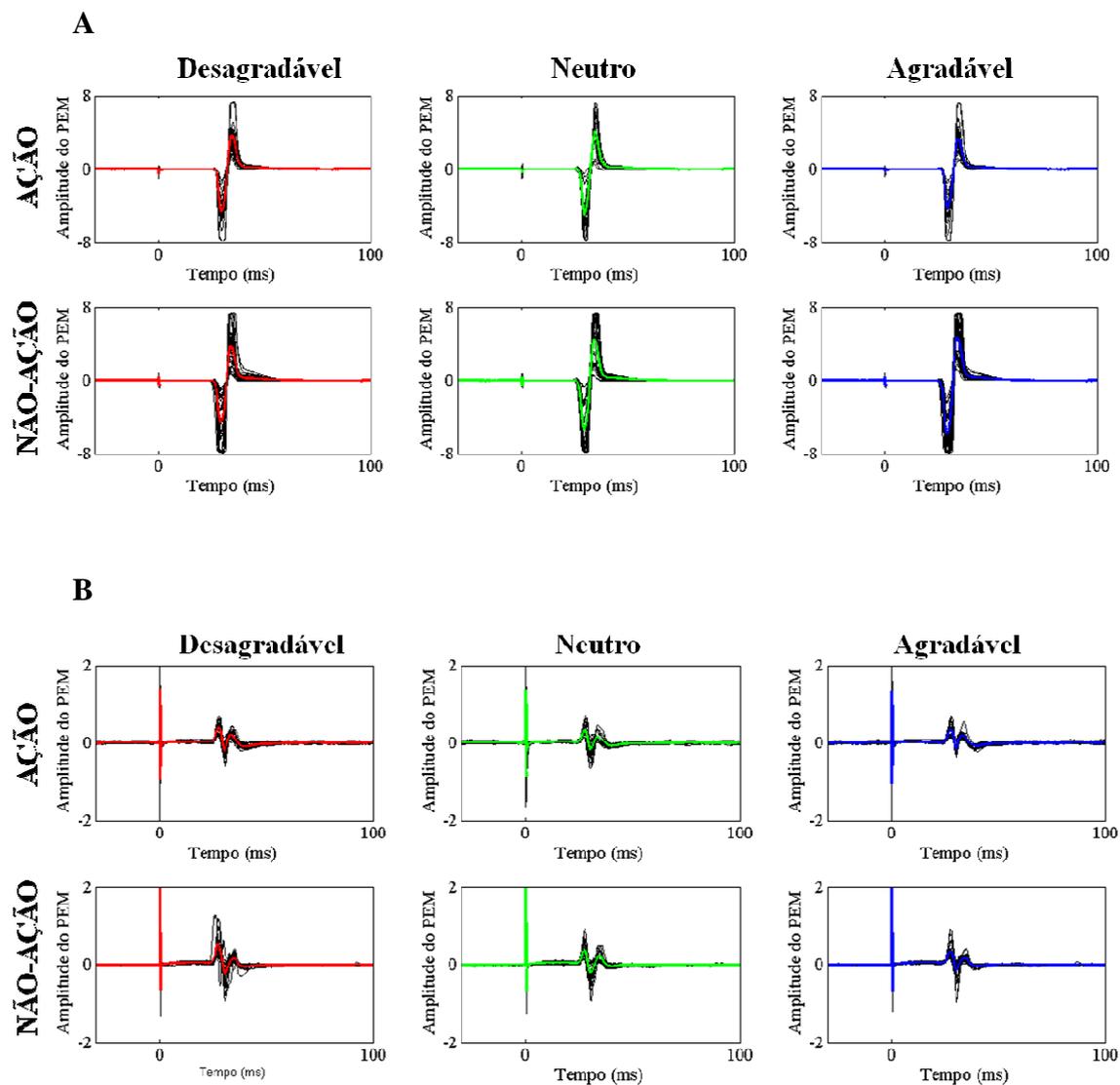


Figura 16. Representação dos potenciais evocados motores de um dos participantes. A) PEM registrado do músculo PID e, em B) do músculo ADM. Para ambos os músculos PEMs de cada uma das tentativas em preto, a média dos PEMs durante a categoria desagradável em vermelho, neutra em verde e agradável em azul. O ponto 0 refere-se ao artefato gerado pela aplicação do pulso de EMT.

| Participantes | CONDIÇÃO AÇÃO | | | CONDIÇÃO NÃO-AÇÃO | | |
|---------------|---------------|--------|-----------|-------------------|--------|-----------|
| | Desagradável | Neutro | Agradável | Desagradável | Neutro | Agradável |
| 01 | 0,50 | 0,45 | 0,48 | 0,38 | 0,41 | 0,39 |
| 02 | 0,55 | 0,52 | 0,47 | 0,47 | 0,44 | 0,61 |
| 03 | 0,40 | 0,41 | 0,38 | 0,47 | 0,39 | 0,49 |
| 04 | 0,61 | 0,44 | 0,38 | 0,51 | 0,54 | 0,51 |
| 05 | 0,42 | 0,41 | 0,30 | 0,31 | 0,31 | 0,23 |
| 06 | 0,56 | 0,41 | 0,43 | 0,47 | 0,32 | 0,45 |
| 07 | 0,50 | 0,41 | 0,30 | 0,49 | 0,39 | 0,39 |
| 08 | 0,53 | 0,63 | 0,49 | 0,51 | 0,64 | 0,69 |
| 09 | 0,56 | 0,43 | 0,46 | 0,39 | 0,43 | 0,51 |
| 10 | 0,37 | 0,41 | 0,34 | 0,44 | 0,48 | 0,38 |
| Média | 0,50 | 0,45 | 0,41 | 0,44 | 0,44 | 0,47 |
| DP | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,10 | 0,13 |

Tabela 2. Média dos PEMs (μV) para o músculo PID. As condições AÇÃO e NÃO-AÇÃO estão representadas de maneira independente. Os valores referem à média do PEM entre os dois momentos de aplicação do pulso de EMT e para cada categoria emocional: desagradável, neutro e agradável. As duas últimas linhas indicam a média e o desvio padrão de todos os participantes por categoria, respectivamente.

| Participantes | CONDIÇÃO AÇÃO | | | CONDIÇÃO NÃO-AÇÃO | | |
|---------------|---------------|--------|-----------|-------------------|--------|-----------|
| | Desagradável | Neutro | Agradável | Desagradável | Neutro | Agradável |
| 01 | 0,45 | 0,47 | 0,45 | 0,51 | 0,51 | 0,44 |
| 02 | 0,50 | 0,44 | 0,45 | 0,36 | 0,35 | 0,34 |
| 03 | 0,44 | 0,60 | 0,45 | 0,47 | 0,47 | 0,47 |
| 04 | 0,35 | 0,42 | 0,32 | 0,33 | 0,37 | 0,22 |
| 05 | 0,34 | 0,36 | 0,39 | 0,35 | 0,46 | 0,39 |
| 06 | 0,59 | 0,44 | 0,48 | 0,47 | 0,51 | 0,56 |
| 07 | 0,51 | 0,45 | 0,44 | 0,49 | 0,32 | 0,46 |
| 08 | 0,54 | 0,49 | 0,47 | 0,57 | 0,44 | 0,37 |
| 09 | 0,56 | 0,44 | 0,50 | 0,48 | 0,37 | 0,41 |
| 10 | 0,49 | 0,43 | 0,42 | 0,46 | 0,38 | 0,31 |
| Média | 0,48 | 0,45 | 0,45 | 0,45 | 0,42 | 0,40 |
| DP | 0,08 | 0,06 | 0,06 | 0,08 | 0,07 | 0,10 |

Tabela 3. Média dos PEMs (μV) para o músculo ADM. As condições AÇÃO e NÃO- AÇÃO estão representadas de maneira independente. Os valores referem à média do PEM entre os dois momentos de aplicação do pulso de EMT e para cada categoria emocional: desagradável, neutro e agradável. As duas últimas linhas indicam a média e o desvio padrão de todos os participantes por categoria, respectivamente.

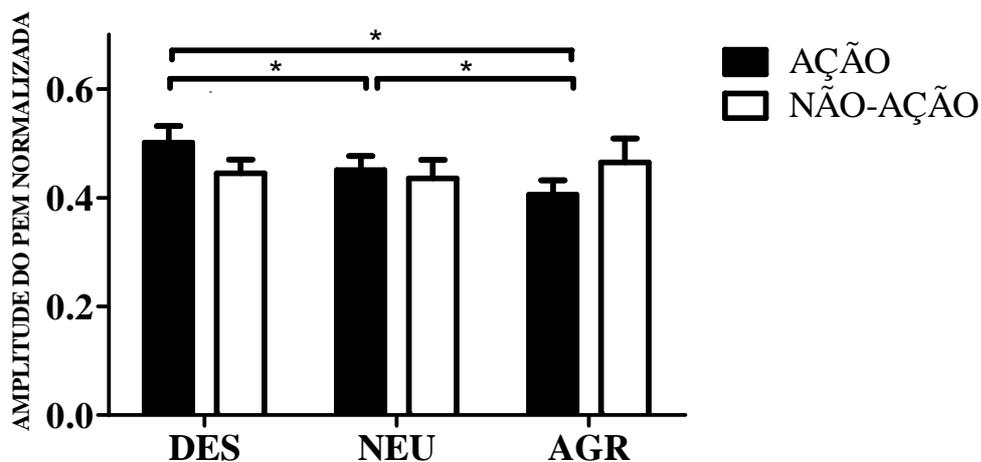


Figura 17: Amplitude do potencial evocado motor do músculo primeiro interósseo dorsal (PID). Na condição AÇÃO, a amplitude do PEM é maior para o estímulo desagradável, em relação ao neutro e o agradável; sendo este último menor que o neutro. Na condição NÃO-AÇÃO não foi encontrado efeito de valência significativo. Média e erro padrão do parâmetro amplitude do PEM normalizado. * $p \leq 0,05$.

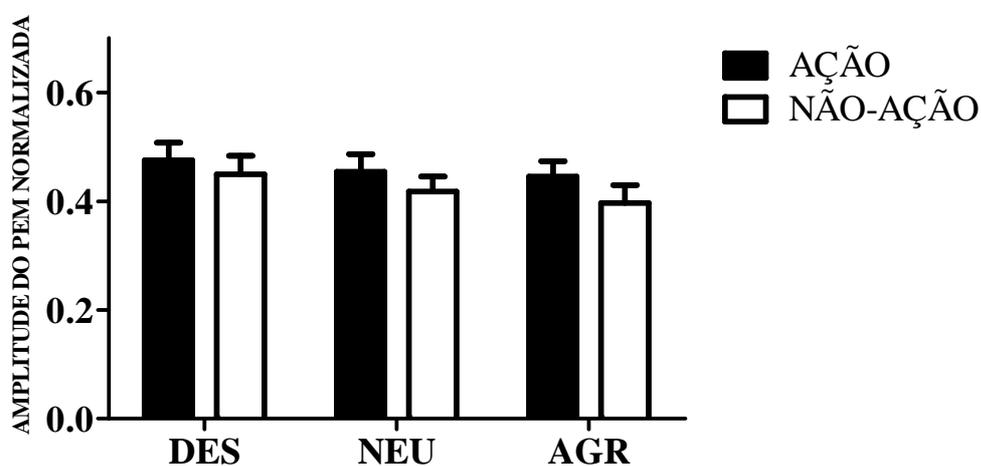


Figura 18: Amplitude do potencial evocado motor do músculo abductor do dedo mínimo (ADM). Não houve efeito significativo entre as valências, tanto para a condição AÇÃO, quanto para a NÃO-AÇÃO. Média e erro padrão do parâmetro amplitude do PEM normalizado. * $p \leq 0,05$.

4.3 Tempo de Resposta

Uma ANOVA para medidas repetidas não revelou efeito principal [$F(2, 18)=0,087$, $p=0,921$] no TR para os movimentos dirigidos aos objetos de diferentes categorias emocionais (agradáveis, desagradáveis e neutros) (Figura 19 e Tabela 4). Não foi observado efeito significativo da emoção sobre o TR, mesmo quando a transformação logarítmica foi aplicada [$F(2, 18)=0,086$, $p=0,918$].

O cálculo da taxa de erros dos participantes durante a execução da tarefa foi realizado e, uma ANOVA para medidas repetidas também não revelou efeito principal [$F(2,18)=1,78$, $p=0,19$] (Figura 20) de acordo com a categoria emocional.

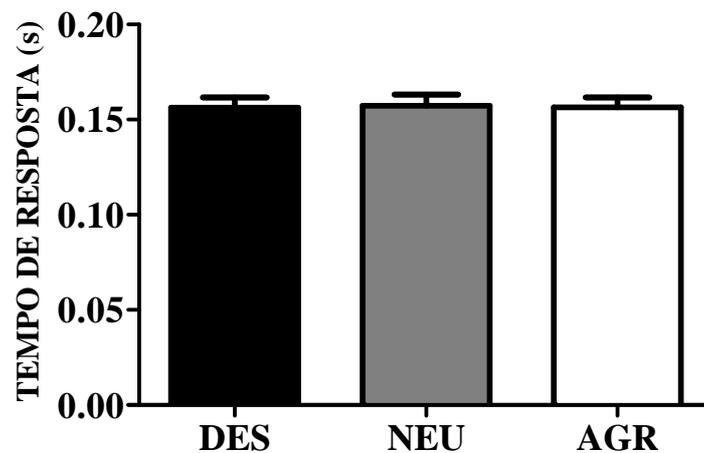


Figura 19: Tempo de resposta. Não houve efeito significativo entre as valências. O dado está apresentado em média e erro padrão. DES= desagradável; NEU= neutro e AGR= agradável.

| Participantes | Desagradável | Neutro | Agradável |
|---------------|--------------|--------|-----------|
| 01 | 0,129 | 0,129 | 0,134 |
| 02 | 0,128 | 0,142 | 0,138 |
| 03 | 0,167 | 0,165 | 0,184 |
| 04 | 0,161 | 0,160 | 0,148 |
| 05 | 0,170 | 0,161 | 0,152 |
| 06 | 0,158 | 0,142 | 0,142 |
| 07 | 0,154 | 0,154 | 0,166 |
| 08 | 0,149 | 0,155 | 0,154 |
| 09 | 0,187 | 0,193 | 0,184 |
| 10 | 0,161 | 0,162 | 0,172 |
| Média | 0,156 | 0,156 | 0,157 |
| Desvio Padrão | 0,018 | 0,017 | 0,019 |

Tabela 4. Média do TR. Os valores referem à média do TR (s) para cada categoria emocional (desagradável, neutro e agradável), por participante. As duas últimas linhas indicam a média e o desvio padrão de todos os participantes por categoria, respectivamente.

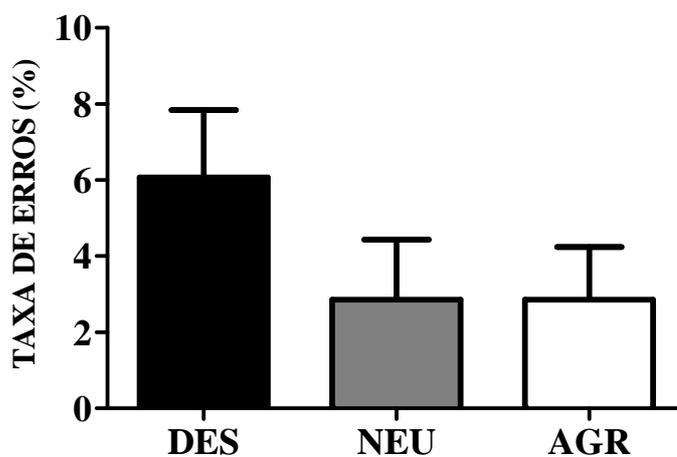


Figura 20: Taxa de erros. Não houve efeito significativo entre as valências. O dado está apresentado em média e erro padrão. DES= desagradável; NEU= neutro e AGR= agradável.

4.4 Relato Avaliativo II: Avaliação dos Estímulos

A análise de variância (ANOVA) de medidas repetidas para as pontuações de valência conferidas aos estímulos pelos voluntários que participaram do experimento de EMT revelou um efeito principal para valência [$F(2, 18)=20,07, p < 0,001$]. O pós-teste revelou que as avaliações de valência dos estímulos considerados agradáveis foram significativamente maiores (média de $6,34 \pm$ desvio-padrão $1,16$) e dos desagradáveis foram significativamente menores ($3,30 \pm 1,03$) do que as pontuações da valência dos estímulos considerados neutros ($5,13 \pm 0,13$), com $p < 0,01$. Além disso, houve um efeito principal para o grau de ativação emocional atribuído aos estímulos ($F(2, 18)=7,19, p < 0,005$). As avaliações do grau de ativação não diferiram entre os estímulos desagradáveis e agradáveis ($4,31 \pm 1,21$ e $4,34 \pm 1,46$, respectivamente) ($p = 0,99$), mas ambas foram significativamente maiores que para os neutros ($2,74 \pm 1,58$), com $p < 0,01$. Para esses resultados ver Figura 21.

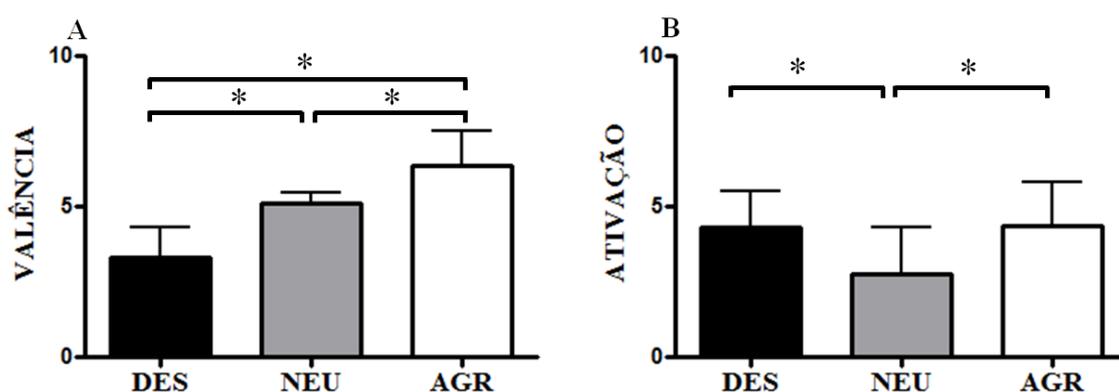


Figura 21: Pontuação média dos 14 estímulos escolhidos em cada categoria. A) Média das valências, com maiores pontuações representando estímulos mais agradáveis e menores pontuações representando valências desagradáveis. Notar que os valores de valência são diferentes para cada categoria. B) Graus de ativação emocional semelhantes entre os estímulos agradáveis e desagradáveis, ambos diferindo dos neutros. Média e desvio padrão da valência e ativação emocional. DES= desagradável; NEU= neutro e AGR= agradável. * $p < 0,01$.

5 DISCUSSÃO

No presente estudo, foi investigado o efeito da emoção durante a preparação para ação por meio da aplicação de pulsos de EMT precedendo o início de um movimento de preensão manual dirigido a estímulos emocionais (condição AÇÃO). Para identificar se a modulação emocional era exclusiva da fase de preparação motora, foi utilizada uma condição “NÃO-AÇÃO” em que os pulsos de EMT também foram aplicados antecedendo o sinal resposta, mas os participantes foram orientados a não se moverem. Assim, os participantes não se preparavam para executar o movimento.

Diferentes estímulos foram categorizados de acordo com a valência (agradável, desagradável e neutra) e com o grau de ativação. Os estímulos agradáveis e desagradáveis tinham grau de ativação similar, porém diferiram significativamente entre si em termos de valência. Os estímulos neutros diferiram dos demais tanto quanto ao grau de ativação quanto ao de valência. A seleção dos estímulos emocionais envolveu a padronização destes para então investigar o efeito da emoção sobre a excitabilidade córtico-espinhal, o qual constituiu o principal propósito desse trabalho.

Os nossos resultados mostraram que a excitabilidade córtico-espinhal é modulada pela valência emocional do estímulo durante a preparação motora. Em especial, a preparação para uma ação dirigida a estímulos emocionais desagradáveis gerou um aumento da excitabilidade córtico-espinhal, quando comparada com a preparação dirigida a estímulos agradáveis e neutros. Uma diminuição da excitabilidade córtico-espinhal foi observada durante a preparação para ação dirigida a estímulos agradáveis, em comparação à medida para os estímulos neutros. Na condição de observação dos estímulos não verificamos efeito emocional sobre o sistema córtico-espinhal com a metodologia empregada. A modulação emocional demonstrada a partir

desses resultados foi específica para o músculo diretamente envolvido na tarefa, ou seja, o PID. Nenhum dos efeitos aqui descritos foi sensível ao momento de aplicação dos pulsos de EMT. Adicionalmente, não foi evidenciada modulação emocional sobre o TR, assim como sobre a taxa de erros durante a realização da tarefa.

5.1 A Influência da Emoção sobre o sistema motor: evidências obtidas a partir de estudos com Estimulação Magnética Transcraniana

Grande parte das evidências de que a emoção modula a excitabilidade córtico-espinal surgiu de estudos de observação passiva de figuras emocionais tais como faces de medo, felizes e neutras (SCHUTTER *et al.*, 2008), figuras do IAPS (COELHO *et al.*, 2007; OLIVERI *et al.*, 2003) e figuras combinadas com música (BAUMGARTNER *et al.*, 2007). Nestes estudos, a excitabilidade córtico-espinal era medida a partir da aplicação de pulsos de EMT em momentos variados após a apresentação das figuras, porém em nenhum desses trabalhos havia uma tarefa motora associada. Além disso, parte desses estudos, detectou um efeito apenas do grau de ativação e, não da valência, sobre a modulação do sistema córtico-espinal (BAUMGARTNER *et al.*, 2007; HAJCAK *et al.*, 2007), ao contrário do que foi descrito no presente trabalho.

Outros estudos, porém, avaliaram o efeito do contexto emocional associado à preparação para uma ação (COOMBES *et al.*, 2009; VAN LOON *et al.*, 2010). No entanto, o paradigma experimental empregado nesses estudos apresenta diferenças consideráveis com o do presente trabalho. Esses autores utilizaram a indução de contextos emocionais pela observação de figuras durante a realização de um movimento do punho ou dos dedos, mas não correlacionado com a imagem apresentada. Em ambos os trabalhos, os autores relataram maiores PEMs quando os participantes faziam

movimento durante a apresentação de figuras desagradáveis, quando comparado com as neutras e agradáveis. No presente estudo, entretanto, os participantes interagiram diretamente com o estímulo emocional, manipulando-os e movendo-os em direção ao corpo. O efeito durante a manipulação dos estímulos desagradáveis foi no mesmo sentido dos trabalhos supracitados: mostramos que a excitabilidade córtico-espinhal é maior durante a preparação para ação dirigida aos estímulos desagradáveis. Porém, houve também um efeito significativo e na direção oposta precedendo a manipulação dos estímulos agradáveis. Assim, diferente dos trabalhos anteriores (COOMBES *et al.*, 2009; VAN LOON *et al.*, 2010), no presente estudo há claramente um efeito dissociado sobre a excitabilidade córtico-espinhal que é dependente da valência do estímulo, uma vez que os estímulos agradáveis e desagradáveis empregados aqui são similares em termos de grau de ativação, apresentando diferenças significativas apenas com relação à valência.

Outro ponto que diferencia consideravelmente os trabalhos de Coombes *et al.* (2009) e van Loon *et al.* (2010) do atual é que o efeito dependente da valência sobre a excitabilidade córtico-espinhal foi detectado apenas para o PID, o qual está diretamente associado com a tarefa de preensão manual empregada. Os PEMs registrados do músculo ADM, o qual foi usado como controle para a tarefa, não apresentou qualquer efeito dependente da valência do estímulo. Ou seja, a modulação emocional também foi específica para o músculo relacionado com a ação dirigida ao conteúdo emocional. De fato, há evidências de que a modulação da via córtico-espinhal seja efector-específica (AVENANTI *et al.*, 2005; FADIGA *et al.*, 1995; ROSSI *et al.*, 2008), inclusive durante a preparação para um movimento (CATTANEO *et al.*, 2005; DAVARE *et al.*, 2008; DAVARE *et al.*, 2009; PRABHU *et al.*, 2007).

Dessa maneira, embora os estudos que antecedem o nosso tenham sugerido um efeito da emoção durante a preparação motora, sugerimos fortemente que o efeito emocional, descrito até o momento por Coombes *et al.*, 2009 e van Loon *et al.*, 2010, seja, principalmente, fruto de uma modulação global sobre o sistema motor. Isto se apoia no fato de que a modulação sobre a excitabilidade córtico-espinal nesses casos (COOMBES *et al.*, 2009; VAN LOON *et al.*, 2010) foi inespecífica, pois o PEM foi registrado de músculos que não se associavam com o estímulo emocional empregado nos experimentos. Assim os resultados mostrados nestes estudos não refletem um efeito direto do conteúdo emocional sobre a atividade do músculo envolvido na ação dirigida à fonte emocional.

Com a EMT é possível avaliar a excitabilidade córtico-espinal a partir da ativação das representações de músculos específicos ao longo do córtex motor primário. Em outras palavras, o registro do PEM no músculo efector após a aplicação de um pulso de EMT no córtex revela mudanças na excitabilidade cortical subjacente ao padrão de atividade muscular requerida na realização de um dado movimento. Cattaneo *et al.* (2005), por exemplo, mostraram que, durante a preparação para pegar objetos diferentes, a excitabilidade córtico-espinal dos músculos PID e ADM alterou de acordo com o tipo de objeto que seria manipulado, ou seja, maçaneta ou disco, respectivamente. A atividade eletromiográfica do PID é maior durante a manipulação da maçaneta, enquanto que do ADM é maior durante a manipulação do disco, indicando assim a especificidade de cada efector para um dos movimentos: PID para o movimento de preensão mais fina requerida para manipular a maçaneta, e o ADM preensão mais global requerida para manipular o disco. Esses resultados indicam uma associação entre a modulação da via córtico-espinal durante o período preparatório e o padrão de atividade muscular a ser implementado a seguir. Os resultados do presente estudo

também apontam para uma modulação sobre a excitabilidade córtico-espinhal específica para o músculo requerido no movimento empregado, mostrando ainda que essa especificidade é evidenciada durante a preparação para um movimento dirigido a estímulos emocionais.

Outro aspecto importante é com relação ao momento em que o pulso de EMT foi aplicado, pois diferentes trabalhos desenvolvidos no âmbito da preparação motora (DAVRANCHE *et al.*, 2007; HASBROUCQ *et al.*, 1997; HASBROUCQ *et al.*, 1999; TANDONNET *et al.*, 2007; TOUGE *et al.*, 1998) revelaram que os efeitos modulatórios durante a preparação podem ser bem distintos dependendo do momento de aplicação do pulso. Em especial, há uma diferença muito grande quando o pulso de EMT é aplicado bem próximo do sinal resposta ou antecedendo o mesmo por pelo menos 250 ms. Coombes *et al.* (2009) aplicaram a EMT imediatamente antes do sinal resposta. van Loon *et al.* (2010) aplicaram pulsos em diferentes intervalos temporais, mas observaram o efeito emocional apenas quando os mesmos foram disparados praticamente junto com o sinal para iniciar a resposta. No estudo atual, o pulso foi aplicado 500 ou em 250 ms antes do sinal para iniciar a resposta, não tendo diferença entre os dois momentos com relação ao efeito da emoção. Assim sendo, o momento ao longo da fase de preparação em que a modulação emocional está sendo avaliada é bem distinto entre os estudos. Porém, nossas evidências parecem indicar que o efeito da emoção transcende toda a fase de preparação motora. Como são muitas as diferenças com relação aos paradigmas experimentais dos estudos anteriores e o presente, tal como já mencionado, torna difícil validar tal explicação, mas a ausência de diferença entre os dois momentos de aplicação do pulso de EMT no presente trabalho, pode ser um indicativo de que o efeito emocional predomina de algum modo ao longo de toda a fase da preparação motora.

5.2 A excitabilidade córtico-espinal não é modulada pela simples observação de estímulos emocionais

Uma possibilidade que poderia ser considerada é que a simples observação do estímulo emocional pudesse exercer uma influência sobre a excitabilidade córtico-espinal, não sendo assim um efeito específico sobre a fase de preparação para um movimento. No entanto, a ausência de modulação emocional na condição NÃO-AÇÃO, onde os participantes foram submetidos ao mesmo protocolo experimental, com exceção de que não deveriam executar o movimento de prensão mediante a apresentação do sinal resposta contraria essa possibilidade. Em outras palavras, a simples presença do estímulo emocional não gerou alteração no PEM para pulsos de EMT aplicados durante a fase de preparação motora. Corroborando esse achado, van Loon *et al.* (2010) revelaram que a observação de figuras emocionais não afeta o PEM registrado no membro contralateral àquele que executa o movimento.

Um estudo desenvolvido por Kinoshita *et al.* (2007) mostrou que o efeito de supressão da amplitude do PEM típico da fase de preparação motora só ocorria quando os participantes eram orientados a responder mediante o aparecimento do sinal para iniciar a resposta. Quando isso não ocorria, ou seja, quando uma resposta não era solicitada, o efeito sobre o PEM desaparecia. Nesse trabalho, os autores empregaram um paradigma com tarefas de tempo de resposta simples e de escolha e um período preparatório fixo (2 s). Esse estudo sugeriu que, quando os participantes não eram orientados a responder após o sinal para iniciar o movimento, não se preparavam adequadamente. Nessa mesma direção, na condição NÃO-AÇÃO do presente experimento, qualquer tendência de resposta foi previamente suprimida, excluindo assim a possibilidade de qualquer preparação; o que pode ter contribuído para a

ausência de modulação pela valência emocional do estímulo nessa condição. Esses resultados estão também de acordo com Bestmann *et al.* (2008), que mostraram que a amplitude do PEM é sensível à expectativa de resposta durante o período preparatório.

A partir dessas evidências e dos resultados aqui revelados durante a condição NÃO-AÇÃO, sugerimos que o efeito da emoção descrito no presente trabalho é específico para a fase de preparação para ação dirigida a objetos emocionais e não resultado de um efeito global induzido pela simples observação do estímulo.

5.3 Preparação para ação dirigida a estímulos desagradáveis e agradáveis

Um grande número de estudos realizado com EMT investigou o efeito sobre a excitabilidade córtico-espinhal durante a preparação motora (HASBROUCQ *et al.*, 1997; KINOSHITA *et al.*, 2007; SINCLAIR e HAMMOND, 2009; TANDONNET *et al.*, 2010; TOUGE, *et al.* 1998; VAN ELSWIJK *et al.*, 2008). Esses trabalhos empregaram abordagens experimentais diversas, podendo variar no tipo de tarefa (tarefas de tempo de resposta simples ou de escolha), ou na duração do período preparatório, podendo ser este de curta duração (500 ms) ou de longa duração (1000 a 2500 ms). Apesar dessas diferenças, a maioria relatou uma redução da excitabilidade córtico-espinhal durante a preparação para ação, em especial em paradigmas de tempo de reação simples e com período preparatório de curta duração (HASBROUCQ *et al.*, 1997; TANDONNET *et al.*, 2010; TOUGE, *et al.* 1998). Logo, surgiu uma questão na literatura com relação à função de tal efeito. Ou seja, se há uma redução tão pronunciada na excitabilidade córtico-espinhal durante a preparação, o que isso refletiria?

Um trabalho interessante desenvolvido por Duque e Ivry (2009) abordou essa questão. A excitabilidade córtico-espinhal foi medida durante a preparação para um movimento que poderia ser executado com o dedo indicador direito ou esquerdo. Neste paradigma, uma pista era dada e, após um sinal para iniciar o movimento, os participantes tinham que mover com o dedo indicado previamente. Curiosamente, os autores mostraram que quando a pista sinalizava um dos dedos, uma supressão córtico-espinhal significativa ocorria para o músculo correspondente, mas não para o músculo da mão contralateral, que não havia sido indicada. Os autores sugeriram que tal efeito seria essencial para assegurar que, uma resposta previamente indicada e, por isso com potencial para ocorrer, não fosse gerada de forma inadequada. Esse mecanismo foi denominado como controle do impulso, o qual seria fundamental para que a implementação de uma resposta previamente planejada, ocorresse no momento preciso. Poderia esse mecanismo explicar o efeito dependente de valência durante a preparação para ação dirigida a estímulos emocionais?

No presente experimento foi utilizado um período preparatório fixo de 3 segundos e os participantes, na condição AÇÃO, deveriam se preparar para manipular copos contendo estímulos emocionais. Nesta condição, os participantes sabiam que, mediante o aparecimento de uma luz vermelha (sinal para iniciar o movimento) teriam que pegar um copo e aproximá-lo do corpo. Nesse caso, nem o tipo de tarefa e nem o efetor mudavam, sendo então o conteúdo emocional de cada objeto – agradável, desagradável ou neutro, a única variável que poderia ser alterada ao longo da sessão experimental. Assim, o movimento de prensão dirigido aos objetos emocionais, incluindo todas as categorias, constituía uma ação potencial, visto que, uma vez o estímulo tendo sido apresentado, o participante teria que pegá-lo. Entretanto, a excitabilidade córtico-espinhal precedente ao movimento dirigido aos estímulos

desagradáveis foi maior quando comparada aos agradáveis e neutros. Uma possibilidade é que a alta desagradabilidade dos estímulos somada à falta de desejo para interagir com eles pudessem implicar em uma menor necessidade de utilização de um mecanismo do tipo de controle do impulso. Isto se refletiria em uma maior excitabilidade córtico-espinhal, com o objetivo de facilitar a implementação de uma resposta com baixa probabilidade de ocorrer quando o alvo é desagradável. De fato, a exposição a figuras desagradáveis interfere com tarefas de discriminação simples de tempo de reação gerando lentificação da resposta (ERTHAL *et al.*, 2005; PEREIRA *et al.*, 2006) e provoca uma resposta postural de menor mobilidade (*freezing*) (AZEVEDO *et al.*, 2005; FACCHINETTI *et al.*, 2006). Além disso, uma maior ativação em áreas do circuito motor já foi evidenciada durante a detecção de alvos após a exposição a figuras desagradáveis (PEREIRA *et al.*, 2010). Desse modo, uma possibilidade é que, como o contexto desagradável gera lentificação de respostas, essa maior ativação das áreas motoras seja fundamental para que essa supressão do sistema seja suplantada e assim o movimento possa ocorrer.

Por outro lado, a excitabilidade córtico-espinhal precedente ao movimento dirigido aos estímulos agradáveis foi menor quando comparada aos desagradáveis e neutros. Assim, quando a ação é dirigida a estímulos agradáveis, dado o desejo natural de se aproximar desse tipo de estímulo, há uma maior probabilidade de o movimento ser prematuramente implementado, e, por isso precisaria ser inibido requerendo assim uma menor atividade preparatória e, conseqüentemente um maior controle do impulso.

Em outra linha de evidências, Albert *et al.* (2010) realizaram um experimento com o objetivo central de avaliar o efeito do contexto emocional quando uma resposta tinha que ser inibida. Para isso figuras positivas, neutras e negativas eram apresentadas, enquanto os participantes tinham que realizar uma tarefa de TR *Go/Nogo*, envolvendo

assim tanto a execução (condição *Go*), quanto à inibição (condição *Nogo*) de um movimento. Os autores mostraram que quando a resposta tinha que ser inibida (condição *Nogo*), a atividade cortical medida a partir do registro de ondas corticais relacionadas com o processamento de inibição de uma resposta era maior. Isto ocorria apenas quando o movimento era precedido pela apresentação das figuras positivas. Os autores sugeriram que a realização de ações nos contextos positivos envolve um desejo natural para mover, o que, segundo os autores, constituiria uma resposta pré-potente, ou seja, com alta probabilidade de ocorrer. Assim sendo, no contexto positivo um controle inibitório maior seria necessário para que o movimento não ocorra no momento inadequado. Os nossos resultados também apontam nessa direção, pois o movimento dirigido aos estímulos agradáveis gerou menor excitabilidade córtico-espinal, traduzindo assim em um maior controle do impulso, ou maior inibição.

Oliveira *et al.* (2012) mostraram que a amplitude do potencial de prontidão registrado nos eletrodos centrais correspondentes à região do córtex sensório-motor foi maior precedendo o movimento direcionado a alvos com conteúdo desagradável, do que àquela precedendo o movimento para os alvos neutros. Enquanto que, quando o movimento era direcionado para alvos agradáveis, a amplitude do potencial de prontidão foi significativamente menor, quando comparado ao movimento direcionado para os neutros. A partir de um paradigma inovador, onde o estímulo emocional era o alvo para o qual a ação era dirigida, Oliveira *et al.* (2012) demonstraram, elegantemente, que a valência emocional de um estímulo afeta a atividade cortical sensório-motora durante a preparação motora.

É sabido que, quando a apresentação de uma tarefa causa um aumento da atividade em áreas corticais chave, o desempenho subsequente é facilitado (BAUER e NIRNBERGER, 1981). Nesse sentido, Oliveira *et al.* (2012) sugeriram que a maior

amplitude na onda cortical preparatória encontrada para o movimento dirigido aos estímulos desagradáveis reflete uma maior atividade, que se faz necessária para cumprir a tarefa e, assim provocar a ocorrência do movimento subsequentemente em uma condição de alta desagradabilidade, onde o desejo real seria de evitar a interação com o estímulo. Oliveira e colaboradores (2012) sugeriram ainda que a maior atividade preparatória para a categoria desagradável poderia resultar de uma maior mobilização de recursos, necessária para suplantar os repertórios motores pré-definidos usados para evitar estímulos desagradáveis. De fato, estudos de microestimulação no córtex pré-motor em macacos produz comportamentos automáticos altamente complexos, incluindo reações de defesa e de retirada da face e dos braços (GRAZIANO, 2006). Além disso, estudos de neuroimagem revelaram maior atividade em áreas do circuito motor quando uma tarefa de tempo de reação simples (PEREIRA *et al.*, 2010) é executada após a observação de figuras desagradáveis. Além disso, uma maior amplitude do potencial de prontidão foi descrita, em uma tarefa de tempo de reação precedida pela observação de figuras desagradáveis, quando comparado com as neutras (GRECUCCI *et al.*, 2009).

Oliveira *et al.* (2012) descreveu também que a menor atividade preparatória para a categoria agradável poderia ser resultado da ativação automática de repertórios motores pré-definidos tal como descrito em primatas não-humanos (GRAZIANO, 2006; GRAZIANO e COOKE, 2006). Por exemplo, movimentos de apreensão e manipulação de objetos em direção ao corpo são magnificados nas regiões correspondentes aos córtices pré-motor e motor primário desses primatas (COOKE e GRAZIANO, 2003; GRAZIANO, 2006). Em outra linha de evidências, a amplitude da onda preparatória foi descrita como sendo inversamente proporcional à facilidade para executar um dado movimento (BAUER e NIRNBERGER, 1981). Assim, dado que os participantes

avaliaram essa categoria de estímulos como sendo a mais agradável, a tendência para agir nesse contexto seria maior quando comparada com as demais categorias, traduzindo-se assim em uma menor mobilização de recursos e menor amplitude do potencial preparatório.

Por fim, os resultados de Oliveira e colaboradores (2012) foram abordados no âmbito dos modelos internos da ação, os quais monitorariam a saída motora, predizendo o tipo de consequências sensoriais um dado comando motor traria, se implementado. Assim, a implementação de um comportamento motor ocorreria baseando-se em modelos preditivos que consideram o estado atual do corpo, o ambiente externo e o comando motor estimado (KAWATO *et al.*, 1987; WOLPERT e FLANAGAN, 2001; WOLPERT *et al.*, 1995; WOLPERT e MIALL, 1996). Com isso, o sistema nervoso poderia representar internamente as transformações sensório-motoras requeridas para programar movimentos e executar ações. Assim, as consequências de um movimento desejado seriam previstas antes mesmo da sua ocorrência, ainda na fase da preparação. Nesse contexto, os custos e benefícios relacionados com a tarefa seriam preditos antes da ação ser implementada (SHADMEHR e KRAKAUER, 2008). Takikawa *et al.*, (2002), por exemplo, mostraram que o pico de velocidade de movimentos sacádicos era sempre maior e menos variável, quando feitos em direção a alvos com recompensa. A partir disso, Oliveira e colaboradores (2012) sugeriram que os modelos internos da ação também incorporam a valência emocional do estímulo para então estimar as consequências motoras adaptadas a um dado contexto. Nessa direção, a expectativa de uma retroalimentação agradável ou desagradável seria embutida nos modelos internos e as previsões das consequências sensoriais do movimento considerariam a valência emocional, ajustando assim o planejamento motor apropriadamente, dado o conteúdo emocional do objeto (Figura 22).

Os nossos resultados corroboram essa proposta, uma vez que a excitabilidade córtico-espinhal também foi maior precedendo o movimento dirigido aos estímulos desagradáveis e, menor para os estímulos agradáveis. Dessa maneira, a necessidade de suplantiar os repertórios motores pré-definidos na categoria desagradável pode ter resultado na maior excitabilidade e menor controle de impulso, tal como descrito aqui. Tal padrão de resposta pode ter emergido do conflito entre a ação requerida (aproximar o estímulo do corpo) e a sua aversividade. Já quando o movimento era dirigido aos estímulos agradáveis, repertórios motores facilmente ativados poderiam contribuir para que o sistema motor alcançasse rapidamente um estado próximo da execução e, então um controle inibitório se torna necessário para evitar a ocorrência do movimento em um momento inadequado. Isto seria resultado da congruência entre uma ação requerida (aproximar o estímulo do corpo) e a agradabilidade do alvo.

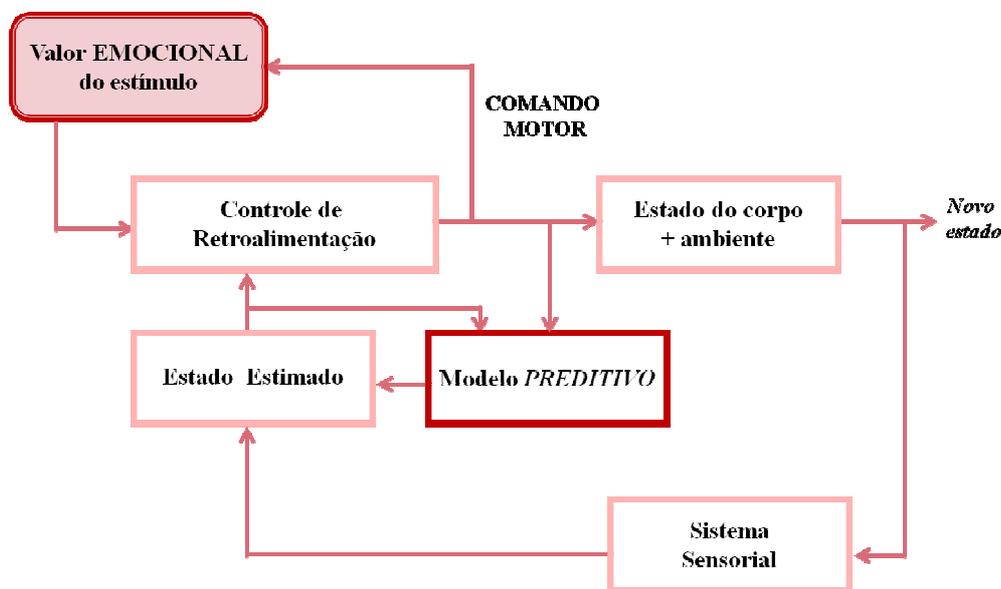


Figura 22: Os modelos internos incluem as previsões da valência do estímulo para estimar as consequências sensoriais de uma dada ação. Com base na teoria dos modelos internos, a implementação de um ato motor ocorre a partir das previsões estimadas em modelos preditivos que consideram o estado atual do corpo, do ambiente e do próprio comando motor estimado. A partir disso cria-se um controle de retroalimentação que resulta na transformação dessas

estimativas em comandos motores. Os custos e recompensas relacionados com a tarefa são preditos durante o planejamento de uma ação. Além disso, os modelos internos também incorporam o valor emocional (valência) do estímulo para então estimar as consequências motoras adaptadas ao contexto. Adaptado de Shadmehr e Krakauer (2008).

5.4 Tempo de resposta durante o movimento dirigido para estímulos emocionais

As modificações evidenciadas com a medida do TR e a apresentação de figuras emocionais são amplamente descritas na literatura. É consenso entre os trabalhos que a observação de figuras desagradáveis gera uma lentificação no tempo de resposta, em relação à observação de figuras agradáveis e neutras (ERTHAL *et al.*, 2005; PEREIRA *et al.*, 2006).

Os paradigmas que associaram medida do TR com a EMT em contextos emocionais descreveram resultados contraditórios. Coombes *et al.* (2009) relataram TRs menores para extensão do punho e dedos mediante a observação de figuras desagradáveis, em relação as agradáveis e neutras. Diferentemente, van Loon *et al.* (2010) empregaram uma tarefa de TR de escolha durante a observação de figuras emocionais e não obtiveram efeito dependente da categoria emocional. Da mesma forma, no presente experimento, o TR não apresentou variação em relação às diferentes categoriais emocionais. Porém, o nosso trabalho apresenta diferenças dos demais: (i) a tarefa de tempo de resposta foi dirigida aos estímulos emocionais, tendo os participantes que manipular cada um dos estímulos; (ii) o movimento realizado foi multiarticular; (iii) o momento de aplicação de pulso foi, pelo menos 250 ms antes do sinal resposta, enquanto que Coombes *et al.* (2009) aplicou o pulso juntamente com sinal resposta. É sabido que, o momento em que a EMT é aplicada pode modular o TR diferentemente, sendo que quanto mais próximo do início do movimento, menor o tempo de reação

(HASBROUCQ *et al.*, 1997). Em função do restrito número de trabalhos que associam a medida da excitabilidade córtico-espinhal e o TR num contexto emocional, não podemos afirmar que essas diferenças justificam a divergência dos resultados. Porém com relação ao momento de aplicação do pulso de EMT, van Loon *et al.* (2010), que assim como nós, não encontrou efeito sobre o TR, aplicou o pulso de EMT em intervalos diferentes durante o período preparatório, assim como foi utilizado no presente trabalho. Sendo assim, de alguma forma a construção do nosso paradigma pode ter contribuído para a não detecção de efeito emocional sobre o TR, o qual é tão difundido na literatura.

6 CONCLUSÃO

O presente estudo mostrou que o efeito da emoção sobre a excitabilidade córtico-espinhal durante a preparação para o movimento de preensão é valência e músculo específico.

O grande propósito desse estudo foi compreender de uma maneira mais ampla de que forma a emoção influencia o sistema motor. Os nossos resultados, associados aos achados de Oliveira e colaboradores (2012) contribuíram para a caracterização do efeito da emoção durante a planejamento de ações voluntárias. Em especial, esses trabalhos abordaram o mecanismo de preparação para um movimento de preensão, em um contexto mais ecológico e próximo da realidade, graças a aplicação de um paradigma experimental inovador, onde de fato os participantes interagiam com a fonte emocional.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAERTS, K., SWINNEN, S.P., WENDEROTH, N. 2010. Observing how others lift light or heavy objects: which visual cues mediate the encoding of muscular force in the primary motor cortex? *Neuropsychologia*, 48: 2082-2090.
- ALBERT, J., LOPEZ-MARTIN, S., CARRETIE, L. 2010. Emotional context modulates response inhibition: neural and behavioral data. *Neuroimage.*, 49: 914-921.
- ANDERSEN, R.A., CUI, H. 2009. Intention, action planning, and decision making in parietal-frontal circuits. *Neuron*, 63: 568-583.
- AVENANTI, A., BUETI, D., GALATI, G., AGLIOTI, S.M. 2005. Transcranial magnetic stimulation highlights the sensorimotor side of empathy for pain. *Nat. Neurosci.*, 8: 955-960.
- AZEVEDO, T.M., VOLCHAN, E., IMBIRIBA, L.A., RODRIGUES, E.C., OLIVEIRA, J.M., OLIVEIRA, L.F., LUTTERBACH, L.G., VARGAS, C.D. 2005. A freezing-like posture to pictures of mutilation. *Psychophysiology*, 42: 255-260.
- BAMFORD, S., WARD, R. 2008. Predispositions to approach and avoid are contextually sensitive and goal dependent. *Emotion.*, 8: 174-183.
- BAUER, H., NIRNBERGER, G. 1981. Concept identification as a function of preceding negative or positive spontaneous shifts in slow brain potentials. *Psychophysiology*, 18: 466-469.
- BAUMGARTNER, T., WILLI, M., JANCKE, L. 2007. Modulation of corticospinal activity by strong emotions evoked by pictures and classical music: a transcranial magnetic stimulation study. *Neuroreport*, 18: 261-265.
- BECKER, W., KRISTEVA, R. 1980. Cerebral potentials prior to various force deployments. *Prog. Brain Res.*, 54: 189-194.
- BESTMANN, S., HARRISON, L.M., BLANKENBURG, F., MARS, R.B., HAGGARD, P., FRISTON, K.J., ROTHWELL, J.C. 2008. Influence of uncertainty and surprise on human corticospinal excitability during preparation for action. *Curr. Biol.*, 18: 775-780.
- BONNET, M., BRADLEY, M.M., LANG, P.J., REQUIN, J. 1995. Modulation of spinal reflexes: arousal, pleasure, action. *Psychophysiology*, 32: 367-372.
- BORTOLETTO, M., LEMONIS, M.J., CUNNINGTON, R. 2011. The role of arousal in the preparation for voluntary movement. *Biol. Psychol.*, 87: 372-378.
- BOTH, S., EVERAERD, W., LAAN, E. 2003. Modulation of spinal reflexes by aversive and sexually appetitive stimuli. *Psychophysiology*, 40: 174-183.

- BRADLEY, M.M., LANG, O.J. Measuring emotion: Behavior, Feeling and physiology. In: *Cognitive Neuroscience of Emotion*. R.D. Lane, L. Nadel (eds.), 2001. p. 242-276.
- BRADLEY, M.M., LANG, P.J. 2000. Affective reactions to acoustic stimuli. *Psychophysiology*, 37: 204-215.
- BRADLEY, M.M., LANG, P.J., CUTHBERT, B.N. 1993. Emotion, novelty, and the startle reflex: habituation in humans. *Behav. Neurosci.*, 107: 970-980.
- BRADLEY, M.M., SABATINELLI, D., LANG, P.J., FITZSIMMONS, J.R., KING, W., DESAI, P. 2003. Activation of the visual cortex in motivated attention. *Behav. Neurosci.*, 117: 369-380.
- BROMBERG-MARTIN, E.S., MATSUMOTO, M., HIKOSAKA, O. 2010. Dopamine in motivational control: rewarding, aversive, and alerting. *Neuron*, 68: 815-834.
- BRUNIA, C., VAN BOXTEL, G. Motor Preparation. In: *Handbook of Psychophysiology*. J. Cacioppo, L. Tassinary & G. Berntson (eds.), Cambridge: Cambridge University Press, 2000. p. 507-532.
- BUHMANN, C., GORSLER, A., BAUMER, T., HIDDING, U., DEMIRALAY, C., HINKELMANN, K., WEILLER, C., SIEBNER, H.R., MUNCHAU, A. 2004. Abnormal excitability of premotor-motor connections in de novo Parkinson's disease. *Brain*, 127: 2732-2746.
- BURLE, B., BONNET, M., VIDAL, F., POSSAMAI, C.A., HASBROUCQ, T. 2002. A transcranial magnetic stimulation study of information processing in the motor cortex: relationship between the silent period and the reaction time delay. *Psychophysiology*, 39: 207-217.
- CASTIELLO, U., BEGLIOMINI, C. 2008. The cortical control of visually guided grasping. *Neuroscientist.*, 14: 157-170.
- CATTANEO, L., VOSS, M., BROCHIER, T., PRABHU, G., WOLPERT, D.M., LEMON, R.N. 2005. A cortico-cortical mechanism mediating object-driven grasp in humans. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A*, 102: 898-903.
- CHEN, M.J., BARGH, A. 1999. Nonconscious approach and avoidance behavioral consequences of the autonomic evaluation effect. *Personal Social Psychology Bulletin*, 25: 215-224.
- CHEN, R., TAM, A., BUTEFISCH, C., CORWELL, B., ZIEMANN, U., ROTHWELL, J.C., COHEN, L.G. 1998. Intracortical inhibition and facilitation in different representations of the human motor cortex. *J. Neurophysiol.*, 80: 2870-2881.
- CHURCHLAND, M.M., SANTHANAM, G., SHENOY, K.V. 2006. Preparatory activity in premotor and motor cortex reflects the speed of the upcoming reach. *J. Neurophysiol.*, 96: 3130-3146.

- CHURCHLAND, M.M., YU, B.M., RYU, S.I., SANTHANAM, G., SHENOY, K.V. 2006. Neural variability in premotor cortex provides a signature of motor preparation. *J. Neurosci.*, 26: 3697-3712.
- CISEK, P., KALASKA, J.F. 2005. Neural correlates of reaching decisions in dorsal premotor cortex: specification of multiple direction choices and final selection of action. *Neuron*, 45: 801-814.
- COELHO, C.M., LIPP, O.V., MARINOVIC, W., WALLIS, G., RIEK, S. 2010. Increased corticospinal excitability induced by unpleasant visual stimuli. *Neurosci. Lett.*, 481: 135-138.
- COHEN, O., SHERMAN, E., ZINGER, N., PERLMUTTER, S., PRUT, Y. 2010. Getting ready to move: transmitted information in the corticospinal pathway during preparation for movement. *Curr. Opin. Neurobiol.*, 20: 696-703.
- CONFORTO, A.B., MARIE, S.K., COHEN, L.G., SCAFF, M. 2003. [Transcranial magnetic stimulation]. *Arq Neuropsiquiatr.*, 61: 146-152.
- COOKE, D.F., GRAZIANO, M.S. 2004. Sensorimotor integration in the precentral gyrus: polysensory neurons and defensive movements. *J. Neurophysiol.*, 91: 1648-1660.
- COOKE, D.F., GRAZIANO, M.S. 2003. Defensive movements evoked by air puff in monkeys. *J. Neurophysiol.*, 90: 3317-3329.
- COOMBES, S.A., CAURAUGH, J.H., JANELLE, C.M. 2006. Emotion and movement: activation of defensive circuitry alters the magnitude of a sustained muscle contraction. *Neurosci. Lett.*, 396: 192-196.
- COOMBES, S.A., CORCOS, D.M., PAVULURI, M.N., VAILLANCOURT, D.E. 2012. Maintaining force control despite changes in emotional context engages dorsomedial prefrontal and premotor cortex. *Cereb. Cortex*, 22: 616-627.
- COOMBES, S.A., TANDONNET, C., FUJIYAMA, H., JANELLE, C.M., CAURAUGH, J.H., SUMMERS, J.J. 2009. Emotion and motor preparation: A transcranial magnetic stimulation study of corticospinal motor tract excitability. *Cogn Affect. Behav. Neurosci.*, 9: 380-388.
- CRAMMOND, D.J., KALASKA, J.F. 2000. Prior information in motor and premotor cortex: activity during the delay period and effect on pre-movement activity. *J. Neurophysiol.*, 84: 986-1005.
- CUNNINGTON, R., WINDISCHBERGER, C., DEECKE, L., MOSER, E. 2003. The preparation and readiness for voluntary movement: a high-field event-related fMRI study of the Bereitschafts-BOLD response. *Neuroimage.*, 20: 404-412.
- DARWIN, D. *The Expressions of Emotions in Man and Animals*. London, John Murray. 1872.

- DAVARE, M., LEMON, R., OLIVIER, E. 2008. Selective modulation of interactions between ventral premotor cortex and primary motor cortex during precision grasping in humans. *J. Physiol*, 586: 2735-2742.
- DAVARE, M., MONTAGUE, K., OLIVIER, E., ROTHWELL, J.C., LEMON, R.N. 2009. Ventral premotor to primary motor cortical interactions during object-driven grasp in humans. *Cortex*, 45: 1050-1057.
- DAVRANCHE, K., TANDONNET, C., BURLE, B., MEYNIER, C., VIDAL, F., HASBROUCQ, T. 2007. The dual nature of time preparation: neural activation and suppression revealed by transcranial magnetic stimulation of the motor cortex. *Eur. J. Neurosci.*, 25: 3766-3774.
- DE GELDER, B., SNYDER, J., GREVE, D., GERARD, G., HADJIKHANI, N. 2004. Fear fosters flight: a mechanism for fear contagion when perceiving emotion expressed by a whole body. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 101: 16701-16706.
- DEECKE, L. 1987. Bereitschaftspotential as an indicator of movement preparation in supplementary motor area and motor cortex. *Ciba Found. Symp.*, 132: 231-250.
- DEECKE, L. 1990. Electrophysiological correlates of movement initiation. *Rev. Neurol. (Paris)*, 146: 612-619.
- DESMURGET, M., GRAFTON, S. 2000. Forward modeling allows feedback control for fast reaching movements. *Trends Cogn Sci.*, 4: 423-431.
- DI LAZZARO, V., DILEONE, M., PILATO, F., CAPONE, F., MUSUMECI, G., RANIERI, F., RICCI, V., BRIA, P., DI, I.R., DE, W.C., PASQUALETTI, P., PROFICE, P. 2011. Modulation of motor cortex neuronal networks by rTMS: comparison of local and remote effects of six different protocols of stimulation. *J. Neurophysiol.*, 105: 2150-2156.
- DI LAZZARO, V., OLIVIERO, A., PILATO, F., SATURNO, E., DILEONE, M., MAZZONE, P., INSOLA, A., TONALI, P.A., ROTHWELL, J.C. 2004. The physiological basis of transcranial motor cortex stimulation in conscious humans. *Clin. Neurophysiol.*, 115: 255-266.
- DI LAZZARO, V., ZIEMANN, U., LEMON, R.N. 2008. State of the art: Physiology of transcranial motor cortex stimulation. *Brain Stimul.*, 1: 345-362.
- DUCKWORTH, K.L., BARGH, J.A., GARCIA, M., CHAIKEN, S. 2002. The automatic evaluation of novel stimuli. *Psychol. Sci.*, 13: 513-519.
- DUQUE, J., IVRY, R.B. 2009. Role of corticospinal suppression during motor preparation. *Cereb. Cortex*, 19: 2013-2024.
- DUQUE, J., LABRUNA, L., VERSET, S., OLIVIER, E., IVRY, R.B. 2012. Dissociating the role of prefrontal and premotor cortices in controlling inhibitory mechanisms during motor preparation. *J. Neurosci.*, 32: 806-816.

- DUQUE, J., LEW, D., MAZZOCCHIO, R., OLIVIER, E., IVRY, R.B. 2010. Evidence for two concurrent inhibitory mechanisms during response preparation. *J. Neurosci.*, 30: 3793-3802.
- EDER, A.B., ROTHERMUND, K. 2008. When do motor behaviors (mis)match affective stimuli? An evaluative coding view of approach and avoidance reactions. *J. Exp. Psychol. Gen.*, 137: 262-281.
- ELLIOT, J.A. Approach and Avoidance Motivation. In: *Handbook of Approach and Avoidance Motivation* .2008. p. 3-14.
- ERTHAL, F.S., DE, O.L., MOCAIBER, I., PEREIRA, M.G., HADO-PINHEIRO, W., VOLCHAN, E., PESSOA, L. 2005. Load-dependent modulation of affective picture processing. *Cogn Affect. Behav. Neurosci.*, 5: 388-395.
- FABIANI, M., GRATTON, G., COLES, M.G.H. Event-related brain potentials: Methods, theory and applications. In: *Handbook of Psychophysiology*. J.T. Cacioppo, L.G. Tassinary & G.G. Berntson (eds.), Cambridge: University Press, 2000.
- FACCHINETTI, L.D., IMBIRIBA, L.A., AZEVEDO, T.M., VARGAS, C.D., VOLCHAN, E. 2006. Postural modulation induced by pictures depicting prosocial or dangerous contexts. *Neurosci. Lett.*, 410: 52-56.
- FADIGA, L., FOGASSI, L., PAVESI, G., RIZZOLATTI, G. 1995. Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study. *J. Neurophysiol.*, 73: 2608-2611.
- FRIJDA, N.H. 2010. Impulsive action and motivation. *Biol. Psychol.*, 84: 570-579.
- GEORGOPOULOS, A.P., CRUTCHER, M.D., SCHWARTZ, A.B. 1989. Cognitive spatial-motor processes. 3. Motor cortical prediction of movement direction during an instructed delay period. *Exp. Brain Res.*, 75: 183-194.
- GHEZ, C., FAVILLA, M., GHILARDI, M.F., GORDON, J., BERMEJO, R., PULLMAN, S. 1997. Discrete and continuous planning of hand movements and isometric force trajectories. *Exp. Brain Res.*, 115: 217-233.
- GRAZIANO, M. 2006. The organization of behavioral repertoire in motor cortex. *Annu. Rev. Neurosci.*, 29: 105-134.
- GRAZIANO, M.S., COOKE, D.F. 2006. Parieto-frontal interactions, personal space, and defensive behavior. *Neuropsychologia*, 44: 845-859.
- GRECUCCI, A., BALABAN, E., BUIATTI, T., BUDAI, R., RUMIATI, R.I. 2009. The emotional control of action: ERP evidence. *Arch. Ital. Biol.*, 147: 37-49.
- GROPPA, S., OLIVIERO, A., EISEN, A., QUARTARONE, A., COHEN, L.G., MALL, V., KAELIN-LANG, A., MIMA, T., ROSSI, S., THICKBROOM, G.W., ROSSINI, P.M., ZIEMANN, U., VALLS-SOLE, J., SIEBNER, H.R. 2012. A practical guide to diagnostic transcranial magnetic stimulation: report of an IFCN committee. *Clin. Neurophysiol.*, 123: 858-882.

- HAJCAK, G., MOLNAR, C., GEORGE, M.S., BOLGER, K., KOOLA, J., NAHAS, Z. 2007. Emotion facilitates action: a transcranial magnetic stimulation study of motor cortex excitability during picture viewing. *Psychophysiology*, 44: 91-97.
- HALLETT, M. 2000. Transcranial magnetic stimulation and the human brain. *Nature*, 406: 147-150.
- HALLETT, M. 2007. Transcranial magnetic stimulation: a primer. *Neuron*, 55: 187-199.
- HASBROUCQ, T., KANEKO, H., AKAMATSU, M., POSSAMAI, C.A. 1997. Preparatory inhibition of cortico-spinal excitability: a transcranial magnetic stimulation study in man. *Brain Res. Cogn Brain Res.*, 5: 185-192.
- HASBROUCQ, T., OSMAN, A., POSSAMAI, C.A., BURLE, B., CARRON, S., DEPY, D., LATOUR, S., MOURET, I. 1999. Cortico-spinal inhibition reflects time but not event preparation: neural mechanisms of preparation dissociated by transcranial magnetic stimulation. *Acta Psychol. (Amst)*, 101: 243-266.
- HIKOSAKA, K., WATANABE, M. 2000. Delay activity of orbital and lateral prefrontal neurons of the monkey varying with different rewards. *Cereb. Cortex*, 10: 263-271.
- HOSHIYAMA, M., KOYAMA, S., KITAMURA, Y., SHIMOJO, M., WATANABE, S., KAKIGI, R. 1996. Effects of judgement process on motor evoked potentials in Go/No-go hand movement task. *Neurosci. Res.*, 24: 427-430.
- JAHANSHAH, M., HALLETT, M. The Bereitschaftspotential: What does it measure and where does it come from? In: *The Bereitschaftspotential Movement-related Cortical Potentials.*, Kluwer Academic / Plenum Publishers, 2003. p. 1-17.
- JEANNEROD, M.
The Cognitive Neuroscience of Action (Fundamentals of Cognitive Neuroscience). Wiley-Blackwell, 1997.
- JEANNEROD, M., ARBIB, M.A., RIZZOLATTI, G., SAKATA, H. 1995. Grasping objects: the cortical mechanisms of visuomotor transformation. *Trends Neurosci.*, 18: 314-320.
- KAWATO, M. 1999. Internal models for motor control and trajectory planning. *Curr. Opin. Neurobiol.*, 9: 718-727.
- KAWATO, M., FURUKAWA, K., SUZUKI, R. 1987. A hierarchical neural-network model for control and learning of voluntary movement. *Biol. Cybern.*, 57: 169-185.
- KELLER, I., HECKHAUSEN, H. 1990. Readiness potentials preceding spontaneous motor acts: voluntary vs. involuntary control. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 76: 351-361.

- KINOSHITA, H., YAHAGI, S., KASAI, T. 2007. Preparatory suppression of the human primary motor cortex induced by repetition of simple and choice reaction time tasks: a transcranial magnetic stimulation study. *Brain Res.*, 1184: 132-140.
- KORNHUBER, H.H., DEECKE, L. 1965. Changes in the brain potential in voluntary movements and passive movements in man: readiness potential and reafferent potentials. *Pflügers Arch. Gesamte Physiol Menschen. Tiere.*, 284: 1-17.
- KRISTEVA, R., CHEYNE, D., LANG, W., LINDINGER, G., DEECKE, L. 1990. Movement-related potentials accompanying unilateral and bilateral finger movements with different inertial loads. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 75: 410-418.
- LANG, P.J. 1995. The emotion probe. *Studies of motivation and attention. Am. Psychol.*, 50: 372-385.
- LANG, P.J., BRADLEY, M.M. 2010. Emotion and the motivational brain. *Biol. Psychol.*, 84: 437-450.
- LANG, P.J., OHMAN, A., VAITL, B.N. The International affective picture system (IAPS). The Center for Research in Psychophysiology, University of Florida, Gainesville, FL, 1988a.
- LANG, P.J., GREENWALD, M.K., BRADLEY, M.M., HAMM, A.O. 1993. Looking at pictures: affective, facial, visceral, and behavioral reactions. *Psychophysiology*, 30: 261-273.
- LEOCANI, L., COHEN, L.G., WASSERMANN, E.M., IKOMA, K., HALLETT, M. 2000. Human corticospinal excitability evaluated with transcranial magnetic stimulation during different reaction time paradigms. *Brain*, 123 (Pt 6): 1161-1173.
- LIBET, B. 1985. Unconscious cerebral initiative and the role of conscious will in voluntary action. *Behavioral and Brain Science*, 8: 529-566.
- LONTIS, E.R., VOIGT, M., STRUIJK, J.J. 2006. Focality assessment in transcranial magnetic stimulation with double and cone coils. *J. Clin. Neurophysiol.*, 23: 462-471.
- LUPPINO, G., MURATA, A., GOVONI, P., MATELLI, M. 1999. Largely segregated parietofrontal connections linking rostral intraparietal cortex (areas AIP and VIP) and the ventral premotor cortex (areas F5 and F4). *Exp. Brain Res.*, 128: 181-187.
- MACKINNON, C.D., ROTHWELL, J.C. 2000. Time-varying changes in corticospinal excitability accompanying the triphasic EMG pattern in humans. *J. Physiol*, 528: 633-645.
- MASAKI, H., TAKASAWA, N., YAMAZAKI, K. 1998. Enhanced negative slope of the readiness potential preceding a target force production task. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 108: 390-397.

- MASAKI, H., TAKASAWA, N., YAMAZAKI, K. 2000. Human movement-related brain potentials preceding voluntary movements in different arousal states monitored with skin potential level. *Percept. Mot. Skills*, 90: 299-306.
- MATSUMOTO, M., HIKOSAKA, O. 2009. Two types of dopamine neuron distinctly convey positive and negative motivational signals. *Nature*, 459: 837-841.
- MCADAM, D.W., SEALES, D.M. 1969. Bereitschaftspotential enhancement with increased level of motivation. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 27: 73-75.
- MCCALLUM, W.C. Human slow potential research. In: *Slow potential changes in the human brain*. W.C. In: McCallum, S.H. Carry (eds.). New York, Plenum Press, 1993. p. 1-12.
- MINIUSSI, C., CAPPÀ, S.F., COHEN, L.G., FLOEL, A., FREGNI, F., NITSCHKE, M.A., OLIVERI, M., PASCUAL-LEONE, A., PAULUS, W., PRIORI, A., WALSH, V. 2008. Efficacy of repetitive transcranial magnetic stimulation/transcranial direct current stimulation in cognitive neurorehabilitation. *Brain Stimul.*, 1: 326-336.
- MOURAO-MIRANDA, J., VOLCHAN, E., MOLL, J., DE OLIVEIRA-SOUZA, R., OLIVEIRA, L., BRAMATI, I., GATTASS, R., PESSOA, L. 2003. Contributions of stimulus valence and arousal to visual activation during emotional perception. *Neuroimage.*, 20: 1955-1963.
- NIKOLOVA, M., PONDEV, N., CHRISTOVA, L., WOLF, W., KOSSEV, A.R. 2006. Motor cortex excitability changes preceding voluntary muscle activity in simple reaction time task. *Eur. J. Appl. Physiol*, 98: 212-219.
- OLDFIELD, R.C. 1971. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9: 97-113.
- OLIVERI, M., BABILONI, C., FILIPPI, M.M., CALTAGIRONE, C., BABILONI, F., CICINELLI, P., TRAVERSA, R., PALMIERI, M.G., ROSSINI, P.M. 2003. Influence of the supplementary motor area on primary motor cortex excitability during movements triggered by neutral or emotionally unpleasant visual cues. *Exp. Brain Res.*, 149: 214-221.
- OLIVEIRA, L.A.S., IMBIRIBA, L.A., RUSSO, M.M., NOGUEIRA-CAMPOS, A.A., RODRIGUES, E.C., PEREIRA, M.G., VOLCHAN, E., VARGAS, C.D. 2012. Preparing to Grasp Emotionally Laden Stimuli. *PLoS ONE*, 7(9):e45235.
- PADOA-SCHIOPPA, C., LI, C.S., BIZZI, E. 2002. Neuronal correlates of kinematics-to-dynamics transformation in the supplementary motor area. *Neuron*, 36: 751-765.
- PASCUAL-LEONE, A., TORMOS, J.M., KEENAN, J., TARAZONA, F., CANETE, C., CATALA, M.D. 1998. Study and modulation of human cortical excitability with transcranial magnetic stimulation. *J. Clin. Neurophysiol.*, 15: 333-343.

- PASCUAL-LEONE, A., VALLS-SOLE, J., WASSERMANN, E.M., BRASIL-NETO, J., COHEN, L.G., HALLETT, M. 1992. Effects of focal transcranial magnetic stimulation on simple reaction time to acoustic, visual and somatosensory stimuli. *Brain*, 115 (Pt 4): 1045-1059.
- PEREIRA, M.G., DE, O.L., ERTHAL, F.S., JOFFILY, M., MOCAIBER, I.F., VOLCHAN, E., PESSOA, L. 2010. Emotion affects action: Midcingulate cortex as a pivotal node of interaction between negative emotion and motor signals. *Cogn Affect. Behav. Neurosci.*, 10: 94-106.
- PEREIRA, M.G., VOLCHAN, E., DE SOUZA, G.G., OLIVEIRA, L., CAMPAGNOLI, R.R., PINHEIRO, W.M., PESSOA, L. 2006. Sustained and transient modulation of performance induced by emotional picture viewing. *Emotion.*, 6: 622-634.
- PRABHU, G., LEMON, R., HAGGARD, P. 2007. On-line control of grasping actions: object-specific motor facilitation requires sustained visual input. *J. Neurosci.*, 27: 12651-12654.
- PRABHU, G., VOSS, M., BROCHIER, T., CATTANEO, L., HAGGARD, P., LEMON, R. 2007. Excitability of human motor cortex inputs prior to grasp. *J. Physiol*, 581: 189-201.
- PUCA, R.M., RINKENAUER, G., BREIDENSTEIN, C. 2006. Individual differences in approach and avoidance movements: how the avoidance motive influences response force. *J. Pers.*, 74: 979-1014.
- RIEHLE, A. Preparation for action: one of the key functions of the motor cortex. In: *Motor cortex in voluntary movements: a distributed system for distributed functions*. A. Riehle, E. Vaadia (eds.), CRC-Press, Boca Raton, FL, 2005. p. 213-240.
- RIEHLE, A., MACKAY, W.A., REQUIN, J. 1994. Are extent and force independent movement parameters? Preparation- and movement-related neuronal activity in the monkey cortex. *Exp. Brain Res.*, 99: 56-74.
- RIEHLE, A., REQUIN, J. 1993. The predictive value for performance speed of preparatory changes in neuronal activity of the monkey motor and premotor cortex. *Behav. Brain Res.*, 53: 35-49.
- RIEHLE, A., REQUIN, J. 1995. Neuronal correlates of the specification of movement direction and force in four cortical areas of the monkey. *Behav. Brain Res.*, 70: 1-13.
- RIZZOLATTI, G., LUPPINO, G., MATELLI, M. 1998. The organization of the cortical motor system: new concepts. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 106: 283-296.
- ROSSI, S., DE, C.A., PASQUALETTI, P., ULIVELLI, M., FADIGA, L., FALZARANO, V., BARTALINI, S., PASSERO, S., NUTI, D., ROSSINI, P.M. 2008. Distinct olfactory cross-modal effects on the human motor system. *PLoS. One.*, 3: e1702-

- ROSSI, S., HALLETT, M., ROSSINI, P.M., PASCUAL-LEONE, A. 2009. Safety, ethical considerations, and application guidelines for the use of transcranial magnetic stimulation in clinical practice and research. *Clin. Neurophysiol.*, 120: 2008-2039.
- ROSSINI, P.M., ROSSINI, L., FERRERI, F. 2010. Brain-behavior relations: transcranial magnetic stimulation: a review. *IEEE Eng Med. Biol. Mag.*, 29: 84-95.
- ROTHWELL, J.C., HALLETT, M., BERARDELLI, A., EISEN, A., ROSSINI, P., PAULUS, W. 1999. Magnetic stimulation: motor evoked potentials. *The International Federation of Clinical Neurophysiology. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. Suppl.*, 52: 97-103.
- SANTIAGO-RODRIGUEZ, E., CARDENAS-MORALES, L., HARMONY, T., FERNANDEZ-BOUZAS, A., PORRAS-KATTZ, E., HERNANDEZ, A. 2008. Repetitive transcranial magnetic stimulation decreases the number of seizures in patients with focal neocortical epilepsy. *Seizure.*, 17: 677-683.
- SCHULTZ, W., TREMBLAY, L., HOLLERMAN, J.R. 2000. Reward processing in primate orbitofrontal cortex and basal ganglia. *Cereb. Cortex*, 10: 272-284.
- SCHUTTER, D.J., HOFMAN, D., VAN, H.J. 2008. Fearful faces selectively increase corticospinal motor tract excitability: a transcranial magnetic stimulation study. *Psychophysiology*, 45: 345-348.
- SHADMEHR, R., KRAKAUER, J.W. 2008. A computational neuroanatomy for motor control. *Exp. Brain Res.*, 185: 359-381.
- SHADMEHR, R., MUSSA-IVALDI, F.A. 1994. Adaptive representation of dynamics during learning of a motor task. *J. Neurosci.*, 14: 3208-3224.
- SHIBASAKI, H., HALLETT, M. 2006. What is the Bereitschaftspotential? *Clin. Neurophysiol.*, 117: 2341-2356.
- SIEMIONOW, V., YUE, G.H., RANGANATHAN, V.K., LIU, J.Z., SAHGAL, V. 2000. Relationship between motor activity-related cortical potential and voluntary muscle activation. *Exp. Brain Res.*, 133: 303-311.
- SINCLAIR, C., HAMMOND, G.R. 2008. Reduced intracortical inhibition during the foreperiod of a warned reaction time task. *Exp. Brain Res.*, 186: 385-392.
- SINCLAIR, C., HAMMOND, G.R. 2009. Excitatory and inhibitory processes in primary motor cortex during the foreperiod of a warned reaction time task are unrelated to response expectancy. *Exp. Brain Res.*, 194: 103-113.
- STEPNIEWSKA, I., FANG, P.C., KAAS, J.H. 2005. Microstimulation reveals specialized subregions for different complex movements in posterior parietal cortex of prosimian galagos. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 102: 4878-4883.

- TAKEI, T., HASHIMOTO, T., HAGURA, N., MATSUMURA, M., NAITO, E. 2005. Reduction of cortico-spinal excitability by transcranial magnetic stimulation at predictable timing. *Jpn. J. Physiol.*, 55: 93-99.
- TAKIKAWA, Y., KAWAGOE, R., ITOH, H., NAKAHARA, H., HIKOSAKA, O. 2002. Modulation of saccadic eye movements by predicted reward outcome. *Exp. Brain Res.*, 142: 284-291.
- TAMIETTO, M., CASTELLI, L., VIGHETTI, S., PEROZZO, P., GEMINIANI, G., WEISKRANTZ, L., DE, G.B. 2009. Unseen facial and bodily expressions trigger fast emotional reactions. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 106: 17661-17666.
- TAMIETTO, M., DE, G.B. 2008. Affective blindsight in the intact brain: neural interhemispheric summation for unseen fearful expressions. *Neuropsychologia*, 46: 820-828.
- TAMIETTO, M., DE, G.B. 2010. Neural bases of the non-conscious perception of emotional signals. *Nat. Rev. Neurosci.*, 11: 697-709.
- TANDONNET, C., GARRY, M.I., SUMMERS, J.J. 2010. Cortical activation during temporal preparation assessed by transcranial magnetic stimulation. *Biol. Psychol.*, 85: 481-486.
- TODOROV, E., JORDAN, M.I. 2002. Optimal feedback control as a theory of motor coordination. *Nat. Neurosci.*, 5: 1226-1235.
- TOUGE, T., TAYLOR, J.L., ROTHWELL, J.C. 1998. Reduced excitability of the cortico-spinal system during the warning period of a reaction time task. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 109: 489-495.
- TREMBLAY, L., SCHULTZ, W. 2000. Reward-related neuronal activity during go-nogo task performance in primate orbitofrontal cortex. *J. Neurophysiol.*, 83: 1864-1876.
- VAN LOON, A.M., VAN DEN WILDENBERG, W.P., VAN STEGEREN, A.H., HAJCAK, G., RIDDERINKHOF, K.R. 2010. Emotional stimuli modulate readiness for action: a transcranial magnetic stimulation study. *Cogn Affect. Behav. Neurosci.*, 10: 174-181.
- VAN DANTZIG, S., PECHER, D., ZWAAN, R.A. 2008. Approach and avoidance as action effects. *Q. J. Exp. Psychol. (Hove.)*, 61: 1298-1306.
- VAN ELSWIJK, G., KLEINE, B.U., OVEREEM, S., STEGEMAN, D.F. 2007. Expectancy induces dynamic modulation of corticospinal excitability. *J. Cogn Neurosci.*, 19: 121-131.
- VAN ELSWIJK, G., SCHOT, W.D., STEGEMAN, D.F., OVEREEM, S. 2008. Changes in corticospinal excitability and the direction of evoked movements during motor preparation: a TMS study. *BMC. Neurosci.*, 9: 51-63.

- VOLCHAN, E., PEREIRA, M.G., OLIVEIRA, L., VARGAS, C.D., MOURAO-MIRANDA, J., AZEVEDO, T.M., MACHADO-PINHEIRO, W., PESSOA, L. 2003. Estímulos emocionais: processamento sensorial e respostas motoras. *Rev. Bras. Psiquiatr.*, 25: 29-32.
- WAGNER, T., VALERO-CABRE, A., PASCUAL-LEONE, A. 2007. Noninvasive human brain stimulation. *Annu. Rev. Biomed. Eng.* 9: 527-565.
- WASSERMANN, E.M. 1998. Risk and safety of repetitive transcranial magnetic stimulation: report and suggested guidelines from the International Workshop on the Safety of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation, June 5-7, 1996. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 108: 1-16.
- WENTURA, D., ROTHERMUND, K., BAK, P. 2000. Automatic vigilance: the attention-grabbing power of approach- and avoidance-related social information. *J. Pers. Soc. Psychol.*, 78: 1024-1037.
- WOLPERT, D.M., FLANAGAN, J.R. 2001. Motor prediction. *Curr. Biol.*, 11: R729-R732.
- WOLPERT, D.M., GHARAMANI, Z. 2000. Computational principles of movement neuroscience. *Nat. Neurosci.*, 3 Suppl: 1212-1217.
- WOLPERT, D.M., GHARAMANI, Z., JORDAN, M.I. 1995. An internal model for sensorimotor integration. *Science*, 269: 1880-1882.
- WOLPERT, D.M., MIALL, R.C. 1996. Forward Models for Physiological Motor Control. *Neural Netw.*, 9: 1265-1279.
- ZAEPFFEL, M., BROCHIER, T. 2012. Planning of visually guided reach-to-grasp movements: inference from reaction time and contingent negative variation (CNV). *Psychophysiology*, 49: 17-30.
- ZIEMANN, U. 1999. Intracortical inhibition and facilitation in the conventional paired TMS paradigm. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. Suppl.* 51: 127-136.

ANEXO I

Manuscrito desenvolvido no âmbito da linha de investigação sobre o efeito da emoção sobre a ação e publicado no periódico PLoS ONE.

Title: Preparing to Grasp Emotionally Laden Stimuli

Authors and Affiliations

Laura Alice Santos de Oliveira: Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. Programa de pós-graduação em ciências da reabilitação. Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), Rio de Janeiro, Brasil.

Luís Aureliano Imbiriba: Escola de Educação Física e Desportos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Maitê Mello Russo: Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Anaelli A. Nogueira-Campos: Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Erika de C. Rodrigues: Programa de Pós-graduação em Ciências da Reabilitação. Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), Rio de Janeiro, Brasil.

Mirtes G. Pereira: Instituto Biomédico, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil.

Eliane Volchan: Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Cláudia Domingues Vargas: Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. **Corresponding author**

Abstract

Background: Contemporary theories of motor control propose that motor planning involves the prediction of the consequences of actions. These predictions include the associated costs as well as the rewarding nature of movements' outcomes. Within the estimation of these costs and rewards would lie the valence, that is, the pleasantness or unpleasantness of a given stimulus with which one is about to interact. The aim of this study was to test if motor preparation encompasses valence.

Methodology/Principal Findings: The readiness potential, an electrophysiological marker of motor preparation, was recorded before grasping pleasant, neutral and unpleasant stimuli. Items used were balanced in weight and placed inside transparent cylinders to prompt a similar grip among trials. Compared with neutral stimuli, the grasping of pleasant stimuli was preceded by a readiness potential of lower amplitude, whereas that of unpleasant stimuli was associated with a readiness potential of higher amplitude.

Conclusions/Significance: We show for the first time that the sensorimotor cortex activity preceding the grasping of a stimulus is affected by its valence. Smaller readiness potential amplitudes found for pleasant stimuli could imply in the recruitment of pre-set motor repertoires, whereas higher amplitudes found for unpleasant stimuli

would emerge from a discrepancy between the required action and their aversiveness. Our results indicate that the prediction of action outcomes encompasses an estimate of the valence of a stimulus with which one is about to interact.

Introduction

Motor systems are exquisitely adapted to transform an action goal into a movement of greatest fit in a given context. This transformation is thought to be performed through internal models of actions, which operate by continuously monitoring the motor output and making future predictions of changes in body states and the immediate environment [1,2]. Optimal control models have recently incorporated the concept of value [3,4], defined herein as the costs as well as the rewarding outcomes of an action. Within this theoretical framework, if one makes a movement to achieve a rewarding state, the very nature of this reward should exert an influence on its planning and execution [3,5]. The influence of reward on motor planning was inferred from kinematic studies [5,6]. Likewise, motor planning might incorporate the costs of a given action.

A network of brain regions at the sensorimotor interface has been recurrently implicated in stimuli value encoding [3,7-15]. In particular, cortical sensorimotor representations seem dynamically sensitive to value-laden circumstances [9,11,16]. For instance, recent mapping of primate parieto-frontal cortices with 500-ms trains of electrical pulses have revealed a collection of behaviorally relevant motor repertoires whose recruitment is triggered as if in accordance with a specific context [9,17,18]. This evidence suggested that motor preparation should be affected by the putative interaction with emotionally laden objects.

Studies in humans are consistent with the idea that emotional contexts engage motor circuits. For instance, it has already been shown that the processing of emotional stimuli modulates signals in motor-related areas and that a pivotal node of interaction between emotion and motor signals might be the midcingulate cortex [19]. This brain region has been proven to trigger a motivational drive for action, conveying affective information to other components of the motor circuits, including the primary motor cortex [19-21]. Likewise, experimentally induced emotional states have been reported to produce robust modulation of activity in primary motor and premotor cortices as well as in putamen [22-24].

Nevertheless, to the best of our knowledge, there is still no direct evidence whether the emotional valence of a stimulus with which one is about to interact influences motor planning. A means to capture this influence is through the measuring of the readiness potential. In 1965, Deecke and Kornhuber reported a pioneering study concerning the existence of electroencephalographic activity preceding a voluntary movement in humans [25]. The readiness potential has since been recognized as an electrophysiological marker of motor preparation [25-34] and has been classically described in two components [25]. While an early readiness potential component starts bilaterally around two seconds in the supplementary motor area (SMA), the late component begins mainly contralateral to the moving limb in the primary motor (M1) and pre-motor cortices at about 400 ms prior to the movement onset [35,36]. Available experimental evidence suggests that the readiness potential magnitude is proportional to movement complexity, to force production, to the degree of effort involved in its execution [for a review see 25,37] and to sensorimotor resource mobilization [38]. Readiness potential magnitude is also inversely proportional to the easiness in performing a given movement [39].

Since Darwin's seminal observations [40], emotions are considered as adaptive in the sense that they prompt actions that are beneficial to the organism. Thus, for any possible action, one should be able to predict the associated costs as well as the rewarding nature of its outcomes (value). Here we propose that within the estimation of these costs and rewards would lie the valence of stimuli with which one is about to interact. In other words, as actions often occur in emotionally laden contexts, emotional valence of the stimulus which one is about to grab should incorporate into the motor planning of that action. To investigate this assumption, we measured the readiness potential preceding the interaction with emotionally laden stimuli presented in transparent cylinders. We hypothesized that grasping and bringing pleasant stimuli toward the body might recruit preset approach-like motor repertoires. Moreover, the same action directed towards unpleasant stimuli might require overpassing preset networks to avoid them. Thus, the intrinsic costs associated to the interaction with unpleasant stimuli would be translated in larger readiness potentials whereas pleasant, potentially rewarding stimuli would associate to smaller readiness potentials as compared to when preceding the interaction with of neutral stimuli.

Results

Stimuli Selection

A set of thirty-nine¹ stimuli consisting of thirteen pleasant, thirteen unpleasant and thirteen neutral items inside transparent cylinders was selected from an initial set of sixty stimuli (see Methods) based on the emotional categorization of the self-assessment manikin. Analyses of appropriateness of selection were conducted. Two repeated measures ANOVA, one for valence and another for arousal, were used to compare the

respective ratings of the three stimuli categories. There was a main effect for valence [$F(2, 24) = 288.84, p < 0.001$]. Fisher's post-hoc comparisons indicated that valence ratings of pleasant stimuli (mean 7.4 ± 0.62 standard deviation) were significantly higher and valence ratings of unpleasant stimuli (3.1 ± 0.44) were significantly lower than those of neutral stimuli (5.0 ± 0.21). There was also a main effect for arousal [$F(2, 24) = 116.52, p < 0.001$]. Fisher's post-hoc comparisons indicated that arousal ratings for pleasant and unpleasant stimuli (5.0 ± 0.75 and 4.6 ± 0.48 , respectively) were each statistically different from neutral (1.8 ± 0.27). No statistical difference was found between these two sets of ratings. Thus, pleasant and unpleasant stimuli provided equivalent arousal ratings. Importantly, the weight of the three sets of stimuli was not statistically different [$F(2, 36) = 1.05, p = 0.36$].

NOTE: ¹ PLEASANT: Chocolate candy, chocolate tablet, money, wrapped condom, mobile phone, some soccer cards, two car toys, marbles, gold trophy, ball, television remote control, MP3 and wrist watch; UNPLEASANT: chicken gizzard, cake with hair, artificial vomit, embalmed cockroach, artificial excrement, embalmed rotten food, bluebottle fly on a biscuit, embalmed dead rat, rotten artichoke, embalmed chicken foot, artificial spider, artificial snake and embalmed fish eye; NEUTRAL: adhesive tape, pencil sharpener, crumpled paper ball, silver paper clips, binder clips, sponge, stick glue, piece of plastic bag, alkaline battery, cotton balls, pieces of colored wire, spun wool and strip of staples.

Readiness Potential

Brain activity in the sensorimotor cortex preceding the grasping of pleasant, unpleasant and neutral stimuli was measured in eleven participants (Figure 1).

Irrespective of the channel, the readiness potential for the unpleasant category appears as the outer contour while that for the pleasant category appears as the inner contour. A main effect was found for category [$F(2, 20) = 12.06, p < 0.01$]. Fisher's post-hoc analyses revealed that the mean readiness potential amplitude for the unpleasant category (mean -9.3 ± 4.37 standard deviation) was significantly higher ($p = 0.04$) than that of the neutral category (-7.6 ± 3.72). Furthermore, the mean readiness potential amplitude was significantly lower ($p = 0.01$) for the pleasant category (-5.6 ± 3.7) than for the neutral category (Figure 1). Finally, the mean readiness potential amplitude was significantly higher ($p < 0.01$) for the unpleasant category than for the pleasant category.

An interaction between channel and wave segment was found [$F(2, 10) = 3.64, p < 0.05$]. Fisher's post-hoc analyses revealed that, as expected, the late readiness potential amplitude was significantly higher than the early readiness potential amplitude both in C3 and C4 channels ($p < 0.01$), see Table 1 for qualitative data. Also, mean amplitudes in C4 (early = -6.8 ; late = -8.2) were higher than in C3 (early = -6.1 ; late = -7.6) irrespective to the categories although this difference did not reach statistical significance.

--- insert table 1 and figure 1 about here ---

Affective Rating

After the EEG recording, ten out of the eleven participants evaluated how they had felt when interacting with each stimulus. ANOVA analysis revealed a main effect

[$F(2, 20) = 99.92, p < 0.01$] for valence. Post-hoc analysis revealed that the unpleasant stimuli (mean 2.9 ± 0.99) scored significantly lower ($p < 0.01$) than the neutral (4.9 ± 0.29) and pleasant stimuli (7.1 ± 0.69) and the neutral stimuli scored significantly lower than the pleasant stimuli ($p < 0.01$). There was also a main effect for arousal [$F(2, 20) = 26.00, p < 0.01$]. Fisher's post-hoc test revealed that both the unpleasant (3.7 ± 1.67) and the pleasant stimuli (4.4 ± 1.22) scored similarly ($p = 0.15$) in arousal with both categories having significantly higher arousal scores ($p < 0.01$) than that of the neutral stimuli (1.1 ± 0.18).

Discussion

The main purpose of this study was to investigate if the emotional valence of the stimulus with which one is about to grasp is taken into account during the motor planning of that action. As we hypothesized, compared to neutral stimuli, grasping pleasant stimuli was preceded by a reduced readiness potential whereas grasping unpleasant stimuli was preceded by an enhanced readiness potential.

Lower readiness potential amplitudes preceded the task of grasping pleasant stimuli and bringing them close to the chest. Additionally, participants rated the interaction with pleasant stimuli as more agreeable than with other categories. The amplitude of the readiness potential has been described as being inversely proportional to the easiness to perform a given movement [39]. Furthermore, faster reaction times are found after the viewing of pleasant as compared to neutral pictures [41]. Thus, lower readiness potential amplitudes might be the result of the congruence between the act of grasping and bringing stimuli toward the body and their pleasantness. Sets of approach-like movements such as holding, grasping and bringing objects toward the body are

magnified in the primate frontal areas and heavily biased toward the central region of space in front of the chest [9,42]. Besides the congruency between the nature of the upcoming action and the stimuli valence, the recruitment of approach-like sensorimotor repertoires, similar to those described in monkeys [9], might have led to lower readiness potential amplitudes.

Conversely, higher readiness potential amplitudes were found preceding the task of grasping unpleasant stimuli and bringing them close to the chest. Additionally, participants rated the interactions with unpleasant stimuli as more disagreeable than with other categories. Higher readiness potential amplitudes might result from the effort of grasping and bringing unpleasant stimuli close to the body. Experimental evidence suggests that the readiness potential magnitude preceding a self-paced movement is proportional to the degree of effort associated with its execution [43] and to the level of resource mobilization [38]. Neuroimaging studies showed increased activity in motor related areas when a simple reaction time task was performed after viewing unpleasant as compared to neutral pictures [19]. Furthermore, greater readiness potential amplitudes were detected preceding a button press movement performed after viewing unpleasant compared to neutral pictures [44]. Together with our findings, these results could be interpreted as a consequence of a discrepancy between the required action and an avoidance-like response evoked by the emotional context. In another line of evidence, microstimulation of the monkey pre-motor cortex leads to withdrawal movements of eye, lip and arm [9,42]. Therefore, higher readiness potential amplitudes might result from the need to overpass preset networks to comply with the instructions to perform the task.

Another interesting result of this study was that the early and late readiness potential components were equally modulated by valence. The early readiness potential

corresponds to a more general preparation for the forthcoming movement, with symmetrical distribution over the scalp and peak amplitude over midline fronto-central sites, mostly relative to the activity of the supplementary motor area. On the other hand, the late readiness potential, or negative slope, refers to a predominant activity over the hemisphere contralateral to the moving limb, and corresponds to the recruitment of primary motor (M1) and pre-motor cortices [review in 34]. These two segments were analyzed separately to guarantee that any putative differential emotional modulation upon motor preparation would be captured. Our findings show that valence effects are present on both readiness potential segments, indicating that these effects span throughout motor preparation. Finally, the readiness potential measures did not reveal any valence-based laterality effect, although approach tendencies were found to activate the left prefrontal cortex whereas withdrawal tendencies, the right prefrontal cortex [45].

Previous studies investigated the influence of emotional picture viewing on corticospinal excitability elicited by transcranial magnetic stimulation [46-52]. Departing from these studies, where emotional stimuli were depicted as pictures and motor response was inexistent or unrelated to the emotional context, here the participants were asked to interact with three dimensional stimuli accommodated inside transparent cylinders. The use of such stimuli and a goal-directed action allowed a more realistic and evocative experimental setting. Thus, we show for the first time that the valence of the stimuli to which the action is directed affects the sensorimotor cortex activity preceding its grasping.

Emotional and neutral stimuli were carefully selected from a larger set so that pleasant and unpleasant categories would carry opposite valence and similar arousal. All stimuli were presented in identical transparent cylinders to prompt a similar grip.

Participants were asked to execute the same movements throughout the experimental session. Additional care was taken to ensure similar weights among stimuli. These cautions are important to avoid biases effects due to different motor demands that might arise from distinct levels of force production or task complexity.

One could suppose that the simple viewing of the objects might had promoted affordance effects, *i.e.*, motoric activations due to the sight of graspable object [53,54]. Affordance was recently described as taking place at about 250 to 300 ms after graspable objects' presentation [55,56]. This interval is far before our window of analysis, which started at approximately 1500 ms relative to the movement onset. Moreover, our design was conceived in a way that the participant had to plan to grasp the transparent cylinder and not the object inside it. Additionally, when subjects were asked to judge the type of grasp evoked by the very same stimuli pictures, no significant difference among the three valence categories was found. Therefore the differences in readiness potential might not be due to any putative affordance effect of the objects inside the cylinders but to their emotional valence.

Skilled motor behavior relies on internal models that take into account the current state of the body, the external objects and the motor command to estimate the action outcomes beforehand [2, 57-59]. In this context value needs to be predicted before any action is taken [3,10]. As a matter of fact, value coding is considered as clearly behaviorally relevant [7,10,13]. For instance, it was shown that saccade peak speeds tend to be higher and less variable when they are done to rewarded target locations [6]. Besides, contemporary theories of emotion are based on the belief that, in order to survive, animals should be capable of identifying either threat signals that allow them to avoid risks to their body envelope or safety signals that allow them a sense of protection [12,45]. In such perspective, one might benefit of predicting the objects'

valence with which one is about to interact. Herein, the readiness potential, an index of motor preparation, was shown to take into account the valence of to-be grasped stimuli. Therefore, we propose that the internal models of action might include valence predictions of to-be-grasped stimuli to estimate appropriate motor outcomes.

In conclusion, the present results show that emotion modulates motor preparation in such a way that movements directed to pleasant stimuli seems to be pre-set and easier to recruit than those directed to unpleasant stimuli. Thus, one could speculate that patients with motor impairment would improve their performance during a rehabilitation program if they were encouraged to interact with valence laden stimuli.

Materials and Methods

Ethics Statement

The study was approved by the Ethics Review Board of the University Hospital Clementino Fraga Filho from Federal University of Rio de Janeiro, number 004/09 and was carried out according to the Declaration of Helsinki. All participants provided informed consent before assessment.

Stimuli selection

To select thirty-nine stimuli (thirteen pleasant, thirteen unpleasant and thirteen neutral) to be employed in the experimental session a group of twenty-seven healthy male students (18-33 years of age) classified a set of sixty different items presented in transparent cylinders (height 9.7cm and radius: 3.5cm) sealed with a plastic film. A

single gender sample was chosen because emotionally laden stimuli selection is often gender specific [60,61].

Each stimulus was presented for six seconds to be appraised. After this period, a buzzer signaled that the participant should grasp the cylinder with his left hand, bring it close to the chest and replace it on the table. The participant was then given ten seconds to estimate how he felt about interacting with the stimuli. This evaluation was completed using the paper and pencil version of the Self-Assessment Manikin (SAM) [62]. Participants classified their interaction with each stimulus in the valence and arousal dimensions. The scale of the hedonic valence dimension is composed of pictorial drawings of manikins with expressions ranging from “smiling-happy” to “frowning-unhappy.” For the arousal dimension, the expressions of the manikins range from an excited, wide-eyed figure to a relaxed, sleepy figure. For analytic purposes, the ratings in the hedonic valence dimension were converted to numbers ranging from one (extremely unpleasant) to nine (extremely pleasant) with five representing neutrality. The ratings in the emotional arousal dimension were converted to numbers ranging from one (low arousal) to nine (high arousal).

Average ratings in valence and arousal dimensions were computed for each stimulus. Selection criteria for the thirteen representative stimuli of each category were: (i) neutral: valence ratings around "5" and arousal ratings around "1"; (ii) pleasant: valence ratings around "7" and arousal ratings around "5"; (iii) unpleasant: valence ratings around "3" and arousal ratings around "5".

Although the objects were placed inside transparent cylinders to favor a similar grip, one could wonder if perceptual features of the object themselves would influence electrophysiological results. To test if the type of grasp each object affords was balanced among the three categories, we did a new experiment where a picture of each

stimulus (objects inside the cylinder) was presented. Seventeen new participants were invited to indicate the type of grasp they would employ to interact with the objects in a forced choice task, “Precision grip” (characterized by opposition of the thumb to one or more of the other fingers) or “Power grip” (in which the fingers are flexed to form a clamp against the palm), [63]. One way ANOVA analyses showed no significant difference for the type of grasp among the three valence categories [$F(2, 36) = 0.91$, $p=0.41$].

Participants

A separate sample of seventeen right-handed male students from the Federal University of Rio de Janeiro (Brazil) aged twenty-one to thirty-six years (27.7 ± 4.12 years) with no reported neurological or neuropsychiatric diseases participated in the electroencephalographic recording experiment. No participants reported taking any medication. Handedness was assessed by the Edinburgh inventory [64].

Electrophysiological Recordings

Electromyography

Surface electromyographic activity (EMG) was recorded from the *extensor carpi radialis* muscle of the left arm as a marker of the initiation of movement. Two Ag/AgCl electrodes (diameter: 8 mm; inter-electrode distance: 2 cm) connected to the MP150 amplifier (BIOPAC Systems Inc.) were used. A reference electrode was fixed on the left lateral epicondylus. The EMG signal was acquired at a sampling rate of 1000 Hz and analogically filtered (band-pass: 10-350 Hz).

Electroencephalography

Electroencephalographic (EEG) signal was recorded from twenty gold electrodes (EMSAMED, Rio de Janeiro, BRAZIL) placed according to the international 10–20 system. Linked mastoids were used as references. The electrodes were fixed with a conductive gel. Impedances were kept below 5 k Ω . The EEG signal was sampled at 600 Hz and band-pass filtered between 0.1 and 35 Hz. As the readiness potential is more exuberant in the sensorimotor regions, a region-of-interest analysis was performed in Cz, C3 and C4 [26].

Procedure

Participants were tested in a sound-attenuated room under dim ambient light. They were asked to sit at a comfortable chair with their left arm placed over a table. The right arm rested on a pillow all over the session. The cylinders were presented, one at a time, by an experimenter seated behind a black curtain (Figure 2). Each cylinder was presented in a fitted socket. A training session ensured that participants waited at least three seconds to initiate the movement upon stimulus presentation. The participants were instructed to grasp the cylinder with the left hand and bring it close to the chest. Then, they were asked to put the cylinder down on the tray socket and return the hand to the initial position. As the participant was instructed to decide when to begin the movement, the duration of stimuli presentation was not fixed. After the participant replaced his hand on the table, the experimenter changed the stimulus by another. The elbow remained positioned over the table during the entire movement. Participants were asked to perform the task with their left hands because a stronger readiness potential negativity was reported for movements with the non-dominant left hand [65].

In the training session nine stimuli (three of each category), not employed in the experimental session, were used. Feedback (“too fast”/ “too slow”) about how long to wait until starting the movement was given by the experimenter after each trial.

In the training session nine stimuli (three of each category), not employed in the experimental session, were used. Feedback (“too fast”/ “too slow”) about how long to wait until starting the movement was given by the experimenter after each trial.

The experiment was completed in four blocks, with three min rest intervals between each of them. In each block, the thirty-nine pre-selected stimuli (thirteen for each category) were displayed in a pseudo-randomized sequence with no more than three repetitions of the same category. To ensure attention engagement, the participants were instructed to carefully observe each stimulus to identify it afterwards. At the end of the fourth block, the electrodes were removed and the evaluation session began. The stimuli were presented again, one at a time, in the same sequence as in the previous block. The total duration of the experiment was approximately one hour and half.

--- insert figure 2 about here ---

Affective rating

The interaction with the thirty-nine stimuli composing the three experimental categories presented during electrophysiological recording was evaluated at the end of the experiment. The aim of this was to evaluate if the participants that performed EEG recording rate the interaction with unpleasant, pleasant and neutral stimuli as such. The participant was seated in a chair facing a table on which the stimuli were presented, one at a time, by an experimenter seated behind a black curtain. Each stimulus was presented. After six seconds of stimulus exposure, a buzzer signaled that the participant had ten seconds to rate how he had felt when interacting with that stimulus. This evaluation was performed in the valence and arousal dimensions using the pen and

pencil version of the Self-Assessment Manikin (SAM) as in stimuli selection session, see above [66].

Data Analyses

The EMG signal was rectified and digitally filtered (low pass: 10 Hz). Movement onset was attributed to the point in time where the EMG signal obtained 100 ms after stimulus presentation increased more than three standard deviations from resting activity. Furthermore, EMG activity should remain at or above this value for at least 500 ms. This automatic estimation was also verified by visual inspection.

The EEG signal was digitally filtered off-line with a Butterworth second order filter (low pass: 10 Hz). Off-line analyses used MATLAB software (Math works, USA). Epochs in which the EEG exceeded $\pm 100 \mu\text{V}$ were eliminated from further analysis, thus excluding eye blink artifacts. Two participants were excluded from the analyses because more than half of their trials were eliminated. For the remaining participants, less than 27% of the trials were eliminated on this criterion. The percentage of rejection per channel was not statistically different among the categories.

The EEG analysis was performed within 2600 ms prior to the onset of the EMG burst. The baseline was set at 2600-2500 ms. Windows of interest relative to movement onset were then set at 1500-500 ms (early readiness potential) and 500-100 ms (late readiness potential) [34]. These EEG segments were grouped and averaged according to the stimuli category (pleasant, unpleasant and neutral) resulting in readiness potentials per participant per category. Mean amplitude values were calculated from early and late readiness potential slope periods. The data from three participants not showing a readiness potential in the neutral category were not further analyzed [31]. One

participant presenting readiness potential amplitudes higher than three standard deviations above the group average for all categories was also excluded.

Statistics

All analyses presented here were performed with data from the eleven remaining participants.

To appraise significant differences between the mean values of readiness potential amplitude, statistical analysis was performed using an ANOVA with repeated measures with the following factors: CATEGORY (pleasant, unpleasant and neutral), CHANNEL (C3, C4 and Cz) and WAVE SEGMENT (Early readiness potential and Late readiness potential). Data sphericity was verified prior to performing the statistical analysis (Mauchly's test, $P > 0.05$). ANOVA with repeated measures were also performed separately for the valence and arousal scores of stimuli interaction rating. In all cases, Fisher LSD post-hoc analysis was employed when significance was attained and the alpha level was set at 0.05. An One-way ANOVA was applied to search for differences in the type of grasp each object affords across categories.

Acknowledgments

The authors thank José Magalhães de Oliveira and Magno Almeida Cadengue for technical support. This work was supported by Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior/Comitê

Francês de Avaliação da Cooperação Universitária e Científica com o Brasil (CAPES/COFECUB) and Rede Instituto Brasileiro de Neurociência (IBN Net).

Corresponding author address: Claudia D. Vargas - Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Av. Carlos Chagas Filho, 373, Rio de Janeiro 21949-900, Brazil.

References

1. Shadmehr R, Mussa-Ivaldi FA (1994) Adaptive representation of dynamics during learning of a motor task. *J Neurosci* 14: 3208-3224.
2. Wolpert DM, Miall RC (1996) Forward Models for Physiological Motor Control. *Neural Netw* 9: 1265-1279.
3. Shadmehr R, Krakauer JW (2008) A computational neuroanatomy for motor control. *Exp Brain Res* 185: 359-381.
4. Todorov E, Jordan MI (2002) Optimal feedback control as a theory of motor coordination. *Nat Neurosci* 5: 1226-1235.
5. Xu-Wilson M, Zee DS, Shadmehr R (2009) The intrinsic value of visual information affects saccade velocities. *Exp Brain Res* 196: 475-481.
6. Takikawa Y, Kawagoe R, Itoh H, Nakahara H, Hikosaka O (2002) Modulation of saccadic eye movements by predicted reward outcome. *Exp Brain Res* 142: 284-291.
7. Balleine BW, Delgado MR, Hikosaka O (2007) The role of the dorsal striatum in reward and decision-making. *J Neurosci* 27: 8161-8165.
8. Dean P, Redgrave P, Westby GW (1989) Event or emergency? Two response systems in the mammalian superior colliculus. *Trends Neurosci* 12: 137-147.
9. Graziano M (2006) The organization of behavioral repertoire in motor cortex. *Annu Rev Neurosci* 29: 105-134.
10. Hikosaka O (2010) The habenula: from stress evasion to value-based decision-making. *Nat Rev Neurosci* 11: 503-513.
11. Lloyd D, Morrison I, Roberts N (2006) Role for human posterior parietal cortex in visual processing of aversive objects in peripersonal space. *J Neurophysiol* 95: 205-214.
12. Lloyd DM (2009) The space between us: a neurophilosophical framework for the investigation of human interpersonal space. *Neurosci Biobehav Rev* 33: 297-304.
13. Matsumoto M, Hikosaka O (2009) Two types of dopamine neuron distinctly convey positive and negative motivational signals. *Nature* 459: 837-841.
14. Morrison I, Peelen MV, Downing PE (2007) The sight of others' pain modulates motor processing in human cingulate cortex. *Cereb Cortex* 17: 2214-2222.
15. Reynolds SM, Berridge KC (2008) Emotional environments retune the valence of appetitive versus fearful functions in nucleus accumbens. *Nat Neurosci* 11: 423-425.
16. Graziano MS, Cooke DF (2006) Parieto-frontal interactions, personal space, and defensive behavior. *Neuropsychologia* 44: 845-859.

17. Cooke DF, Graziano MS (2004) Sensorimotor integration in the precentral gyrus: polysensory neurons and defensive movements. *J Neurophysiol* 91: 1648-1660.
18. Stepniewska I, Fang PC, Kaas JH (2005) Microstimulation reveals specialized subregions for different complex movements in posterior parietal cortex of prosimian galagos. *Proc Natl Acad Sci U S A* 102: 4878-4883.
19. Pereira MG, Oliveira L, Erthal FS, Joffily M, Mocaiber IF, Volchan E, Pessoa L (2010) Emotion affects action: Midcingulate cortex as a pivotal node of interaction between negative emotion and motor signals. *Cogn Affect Behav Neurosci* 10: 94-106.
20. Morecraft RJ, Louie JL, Schroeder CM, Avramov K (1997) Segregated parallel inputs to the brachial spinal cord from the cingulate motor cortex in the monkey. *Neuroreport* 8: 3933-3938.
21. Paus T (2001) Primate anterior cingulate cortex: where motor control, drive and cognition interface. *Nat Rev Neurosci* 2: 417-424.
22. Butler T, Pan H, Tuescher O, Engeliem A, Goldstein M, Epstein J, Weisholtz D, Root JC, Protopopescu X, Cunningham-Bussel AC, Chang L, Xie XH, Chen Q, Phelps EA, Ledoux JE, Stern E, Silbersweig DA (2007) Human fear-related motor neurocircuitry. *Neuroscience* 150: 1-7.
23. Coombes SA, Corcos DM, Pavuluri MN, Vaillancourt DE (2012) Maintaining force control despite changes in emotional context engages dorsomedial prefrontal and premotor cortex. *Cereb Cortex* 22: 616-627.
24. Phelps EA, O'Connor KJ, Gatenby JC, Gore JC, Grillon C, Davis M (2001) Activation of the left amygdala to a cognitive representation of fear. *Nat Neurosci* 4: 437-441.
25. Deecke L (1990) Electrophysiological correlates of movement initiation. *Rev Neurol (Paris)* 146: 612-619.
26. Colebatch JG (2007) Bereitschaftspotential and movement-related potentials: origin, significance, and application in disorders of human movement. *Mov Disord* 22: 601-610.
27. Cunnington R, Windischberger C, Deecke L, Moser E (2003) The preparation and readiness for voluntary movement: a high-field event-related fMRI study of the Bereitschafts-BOLD response. *Neuroimage* 20: 404-412.
28. Cunnington R, Windischberger C, Moser E (2005) Premovement activity of the pre-supplementary motor area and the readiness for action: studies of time-resolved event-related functional MRI. *Hum Mov Sci* 24: 644-656.
29. Deecke L (1987) Bereitschaftspotential as an indicator of movement preparation in supplementary motor area and motor cortex. *Ciba Found Symp* 132: 231-250.
30. Keller I, Heckhausen H (1990) Readiness potentials preceding spontaneous motor acts: voluntary vs. involuntary control. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 76: 351-361.
31. Kilner JM, Vargas C, Duval S, Blakemore SJ, Sirigu A (2004) Motor activation prior to observation of a predicted movement. *Nat Neurosci* 7: 1299-1301.
32. Kristeva-Feige R, Rossi S, Feige B, Mergner T, Lucking CH, Rossini PM (1997) The Bereitschaftspotential paradigm in investigating voluntary movement organization in humans using magnetoencephalography (MEG). *Brain Res Brain Res Protoc* 1: 13-22.
33. Libet B, Gleason CA, Wright EW, Pearl DK (1983) Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential). The unconscious initiation of a freely voluntary act. *Brain* 106: 623-642.

34. Shibasaki H, Hallett M (2006) What is the Bereitschaftspotential? *Clin Neurophysiol* 117: 2341-2356.
35. Ikeda A, Luders HO, Burgess RC, Shibasaki H (1992) Movement-related potentials recorded from supplementary motor area and primary motor area. Role of supplementary motor area in voluntary movements. *Brain* 115: 1017-1043.
36. Yazawa S, Ikeda A, Kunieda T, Ohara S, Mima T, Nagamine T, Taki W, Kimura J, Hori T, Shibasaki H (2000) Human presupplementary motor area is active before voluntary movement: subdural recording of Bereitschaftspotential from medial frontal cortex. *Exp Brain Res* 131: 165-177.
37. Jahanshahi M, Rowe J, Fuller R (2003) Cognitive executive function in dystonia. *Mov Disord* 18: 1470-1481.
38. McCallum WC (1993) Human slow potential research. 1-12.
39. Bauer H, Nimberger G (1981) Concept identification as a function of preceding negative or positive spontaneous shifts in slow brain potentials. *Psychophysiology* 18: 466-469.
40. Darwin CR (1872) *The Expression of the Emotions in Man and Animals*. 1st: John Murray. London.
41. Pereira MG, Volchan E, de Souza GG, Oliveira L, Campagnoli RR, Pinheiro WM, Pessoa L (2006) Sustained and transient modulation of performance induced by emotional picture viewing. *Emotion* 6: 622-634.
42. Cooke DF, Graziano MS (2003) Defensive movements evoked by air puff in monkeys. *J Neurophysiol* 90: 3317-3329.
43. Kornhuber HH, Deecke L (1965) Changes in the brain potential in voluntary movements and passive movements in man: readiness potential and reafferent potentials. *Pflügers Arch Gesamte Physiol Menschen Tiere* 284: 1-17.
44. Grecucci A, Balaban E, Buiatti T, Budai R, Rumiati RI (2009) The emotional control of action: ERP evidence. *Arch Ital Biol* 147: 37-49.
45. Elliot JA (2008) Approach and Avoidance Motivation. 3-14.
46. Baumgartner T, Willi M, Jancke L (2007) Modulation of corticospinal activity by strong emotions evoked by pictures and classical music: a transcranial magnetic stimulation study. *Neuroreport* 18: 261-265.
47. Coelho CM, Lipp OV, Marinovic W, Wallis G, Riek S (2010) Increased corticospinal excitability induced by unpleasant visual stimuli. *Neurosci Lett* 481: 135-138.
48. Coombes SA, Tandonnet C, Fujiyama H, Janelle CM, Cauraugh JH, Summers JJ (2009) Emotion and motor preparation: A transcranial magnetic stimulation study of corticospinal motor tract excitability. *Cogn Affect Behav Neurosci* 9: 380-388.
49. Hajcak G, Molnar C, George MS, Bolger K, Koola J, Nahas Z (2007) Emotion facilitates action: a transcranial magnetic stimulation study of motor cortex excitability during picture viewing. *Psychophysiology* 44: 91-97.
50. Oliveri M, Babiloni C, Filippi MM, Caltagirone C, Babiloni F, Cicinelli P, Traversa R, Palmieri MG, Rossini PM (2003) Influence of the supplementary motor area on primary motor cortex excitability during movements triggered by neutral or emotionally unpleasant visual cues. *Exp Brain Res* 149: 214-221.
51. Schutter DJ, Hofman D, van HJ (2008) Fearful faces selectively increase corticospinal motor tract excitability: a transcranial magnetic stimulation study. *Psychophysiology* 45: 345-348.

52. van Loon AM, van den Wildenberg WP, van Stegeren AH, Hajcak G, Ridderinkhof KR (2010) Emotional stimuli modulate readiness for action: a transcranial magnetic stimulation study. *Cogn Affect Behav Neurosci* 10: 174-181.
53. Grafton ST, Fadiga L, Arbib MA, Rizzolatti G (1997) Premotor cortex activation during observation and naming of familiar tools. *Neuroimage* 6: 231-236.
54. Jeannerod M, Arbib MA, Rizzolatti G, Sakata H (1995) Grasping objects: the cortical mechanisms of visuomotor transformation. *Trends Neurosci* 18: 314-320.
55. Makris S, Hadar AA, Yarrow K (2011) Viewing objects and planning actions: on the potentiation of grasping behaviours by visual objects. *Brain Cogn* 77: 257-264.
56. Proverbio AM, Adorni R, D'Aniello GE (2011) 250 ms to code for action affordance during observation of manipulable objects. *Neuropsychologia* 49: 2711-2717.
57. Kawato M, Furukawa K, Suzuki R (1987) A hierarchical neural-network model for control and learning of voluntary movement. *Biol Cybern* 57: 169-185.
58. Wolpert DM, Ghahramani Z, Jordan MI (1995) An internal model for sensorimotor integration. *Science* 269: 1880-1882.
59. Wolpert DM, Flanagan JR (2001) Motor prediction. *Curr Biol* 11: R729-R732.
60. Bradley MM, Codispoti M, Sabatinelli D, Lang PJ (2001) Emotion and motivation II: sex differences in picture processing. *Emotion* 1: 300-319.
61. Sabatinelli D, Flaisch T, Bradley MM, Fitzsimmons JR, Lang PJ (2004) Affective picture perception: gender differences in visual cortex? *Neuroreport* 15: 1109-1112.
62. Lang PJ, Bradley MM, Cuthbert BN (2008) International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual.
63. Castiello U (2005) The neuroscience of grasping. *Nat Rev Neurosci* 6: 726-736.
64. Oldfield RC (1971) The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9: 97-113.
65. Dirnberger G, Duregger C, Lindinger G, Lang W (2011) On the regularity of preparatory activity preceding movements with the dominant and non-dominant hand: a readiness potential study. *Int J Psychophysiol* 81: 127-131.
66. Bradley MM, Lang PJ (1994) Measuring emotion: the Self-Assessment Manikin and the Semantic Differential. *J Behav Ther Exp Psychiatry* 25: 49-59.

Table 1**Mean and standard deviation values of readiness potential amplitudes.**

| Category | Wave segment | C3 | CZ | C4 |
|------------|--------------|---------------------|--------------|--------------------|
| Unpleasant | Early | -7.5 (3.09) | -9.8 (4.79) | -8.2 (3.42) |
| | Late | -9.67 (4.37) | -10.7 (5.67) | -9.8 (3.27) |
| Pleasant | Early | -4.3 (3.07) | -6.8 (3.97) | -5.3 (2.32) |
| | Late | -5.2 (4.17) | -5.9 (4.41) | -6.1 (3.05) |
| Neutral | Early | -6.6 (3.46) | -7.7 (4.20) | -6.8 (2.94) |
| | Late | -8.1 (3.56) | -8.0 (4.20) | -8.6 (3.21) |

Figures

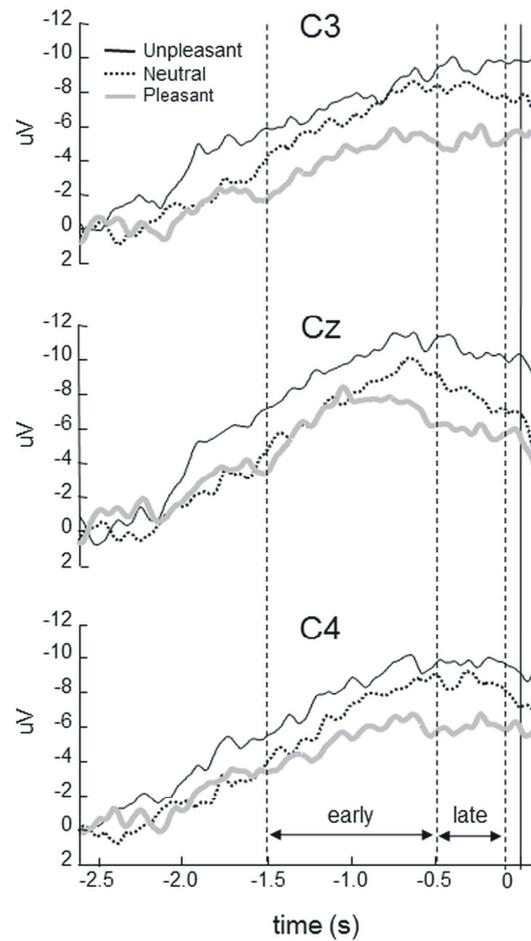


Figure 1: Mean average of readiness potential amplitudes preceding the grasping of pleasant, unpleasant and neutral stimuli for each analyzed channel (C3, CZ and C4). The mean readiness potential amplitude found for unpleasant stimuli was higher and that for pleasant stimuli lower relative to the observed for neutral stimuli.

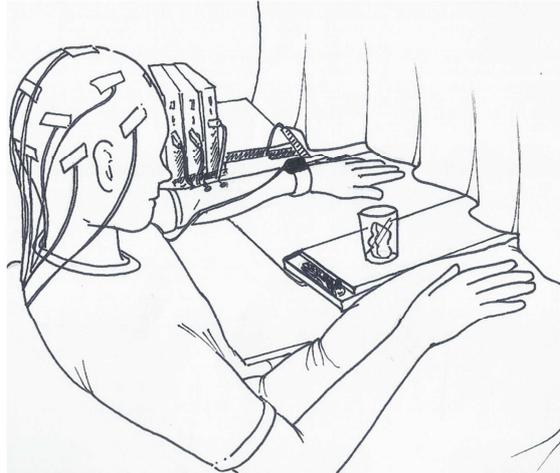


Figure 2: The participant sat with his left arm placed over a table. The right arm rested over a pillow for the duration of the session. An experimenter sat behind a black curtain and presented each object fitted in a socket. Upon presentation, participants were instructed to wait, grasp the object with the left hand and bring it close to the chest. Subjects were then asked to put the cylinder down on the tray socket and return the hand to the initial position. EEG and EMG signals were recorded throughout the experiment.

ANEXO II

INSTRUÇÕES PARA CLASSIFICAÇÃO DOS ESTÍMULOS

Obrigada pela sua presença!

Nesse estudo, nós estamos interessados em compreender como as pessoas avaliam estímulos de diversas categorias.

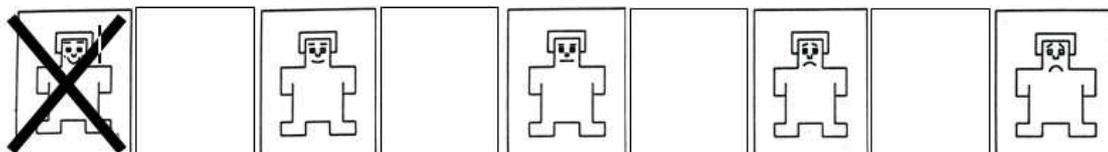
Pelos próximos 20 minutos você verá copos contendo diferentes itens. Sua tarefa será avaliar o conteúdo de cada copo de acordo com o que você sentiria se tivesse que pegar esse copo. Não há respostas certas ou erradas, então responda da maneira mais sincera que você puder.

Para avaliar os copos apresentados você usará o caderno de respostas que lhe foi entregue no início do experimento. Abra este caderno na folha em que está escrito o número 1. Você verá que há dois grupos de duas escalas. Um abaixo do número 1 e outro abaixo do número 2. Você usará essas escalas para avaliar os estímulos.

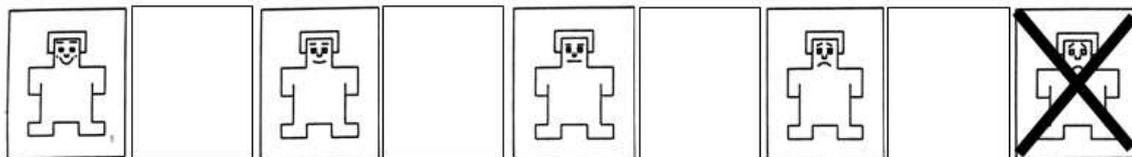
Cada escala possui 5 bonecos que representam uma mudança gradativa de um estado corporal. A escala mais superior representa estados mais alegres até estados bem tristes (escala agradável x desagradável). A escala mais inferior representa estados mais ativados até estados não ativados, inertes (escala agitado x calmo).

Agora vamos explicar como fazer para responder cada escala.

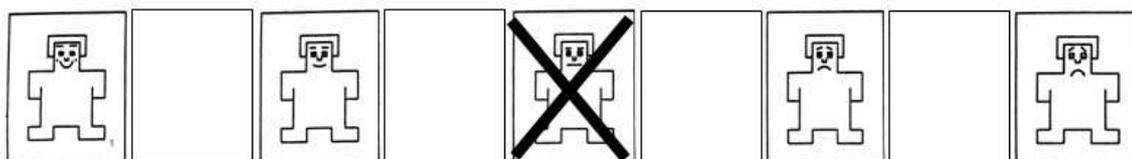
Na escala agradável x desagradável você deverá fazer um **X** no lugar que melhor representar o que você sentiria se tivesse que pegar o conteúdo do copo. Se pegar o conteúdo do copo for muito agradável para você, faça um X mais à esquerda da escala, correspondente ao boneco mais feliz de todos. Veja o exemplo abaixo:



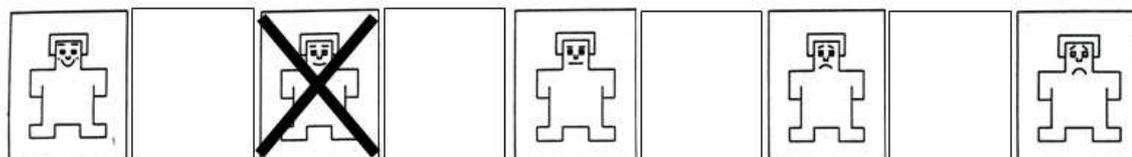
Por outro lado, se pegar o conteúdo do copo poderia fazer você se sentir triste, deprimido, perturbado, aborrecido, insatisfeito, chateado, contrariado, isto é, se o conteúdo do copo for muito desagradável para você, então marque o X mais a direita, correspondente ao boneco mais descontente de todos. Veja o exemplo abaixo.



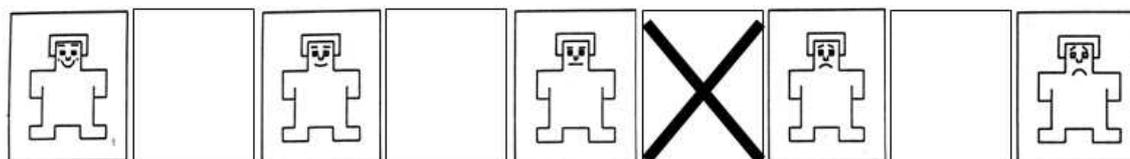
Se você ficar completamente neutro, ou seja, se o conteúdo do copo não for nem agradável nem desagradável, faça um X no boneco do meio.



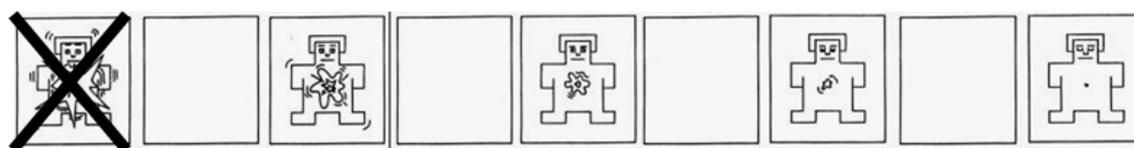
Se o que você sentiria ao pegar o conteúdo do copo está mais bem representado entre os bonecos, faça o X sobre este espaço. Exemplos:



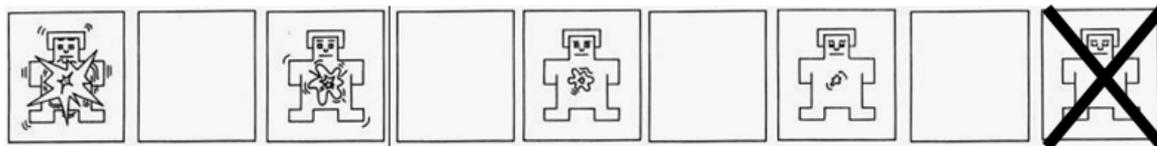
Ou:



Na escala agitado x calmo a classificação que você deverá fazer é sobre o grau de ativação que o conteúdo do copo promove em você. Por exemplo, se pegar o conteúdo do copo te deixar muito ativado, agitado, estimulado, ou irrequieto, isto é, se você ficar completamente ativado, faça um X mais à esquerda da escala. Veja o exemplo:

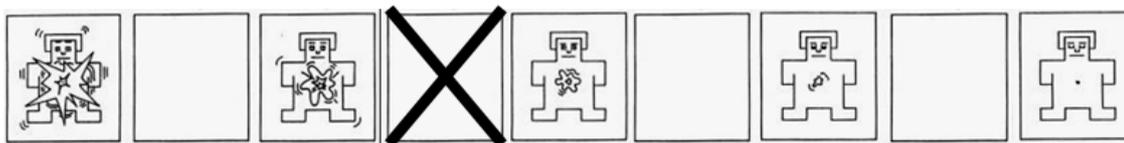


Por outro lado, se pegar o conteúdo do copo te deixar inerte, apático ou sonolento, isto é, se o conteúdo do copo te deixar completamente desativado, marque o X mais a direita. Veja o exemplo abaixo.



Semelhante à outra escala, você também pode marcar em estados intermediários.

Veja:



Se você não conseguir classificar algum copo, deixe as escalas correspondentes ao número daquele copo em branco e passe para o copo seguinte.

O procedimento será o seguinte: um copo será apresentado e permanecerá na sua frente durante seis segundos. Durante esse tempo você deve OLHAR para o copo. Quando ouvir uma campainha, você deve avaliar o copo nas duas escalas do caderno de respostas. Você terá dez segundos para fazer isso. Ao final desse período você ouvirá novamente uma campainha e deverá pegar o copo, olhar para ele e recoloca-lo na mesa. Em seguida, outro copo será apresentado. Você deve repetir os mesmos procedimentos até que todos os copos tenham sido apresentados.

Confira sempre se você está classificando o copo na escala com a numeração correspondente. Por exemplo, se o copo que você estiver avaliando tiver o número 3, então o classifique nas escalas que tiverem este número acima delas.

Qualquer dúvida sinta-se livre para perguntar ao experimentador.

Vamos agora realizar um treinamento. Vá até a página 81 do seu caderno de respostas e aguarde a apresentação de um copo. Quando ele aparecer, realize os procedimentos explicados com os copos que forem mostrados até que o experimentador te dar uma nova instrução.

ANEXO III

Questionário de Lateralidade - *Edinburgh Handedness Inventory* (Oldfield, 1971)

Por favor, indique sua preferência no uso das mãos nas atividades abaixo relacionadas, assinalando + na coluna apropriada. Se a preferência é tão forte que você nunca iria tentar usar o outro lado, a menos que seja absolutamente obrigado, assinale ++. Se em um dado caso, você é indiferente, assinale + nas duas colunas.

Por favor, tente responder todas as perguntas, e só deixar um espaço em branco se você não tem experiência alguma com o objeto ou tarefa.

| | ESQUERDA | DIREITA |
|---|------------------------|------------------|
| 1. Escrever | | |
| 2. Desenhar | | |
| 3. Arremessar | | |
| 4. Usar tesoura | | |
| 5. Escovar os dentes | | |
| 6. Usar uma faca (sem garfo) | | |
| 7. Usar uma Colher | | |
| 8. Usar vassoura (mão superior) | | |
| 9. Acender um Fósforo (fósforo) | | |
| 10. Abrir uma caixa (tampa) | | |
| 11. Segurar um <i>mouse</i> de computador | | |
| 12. Usar uma chave para abrir uma porta | | |
| 13. Usar um martelo | | |
| 14. Usar uma escova ou pente | | |
| 15. Segurar um copo enquanto bebe | | |
| TOTAL | | |
| DIFERENÇA | TOTAL ACUMULADO | RESULTADO |
| | | |

Cálculo: Verifique o número de marcações nas colunas da "esquerda" e "direita" definido na linha "Total" para cada coluna. Adicione o total esquerdo e o direito na

parte "TOTAL acumulado" da segunda tabela. Subtraia o total à esquerda do total à direita e coloque na coluna "DIFERENÇA". Divida o valor da "DIFERENÇA" pelo "TOTAL acumulado" (arredondar para 2 dígitos, caso necessário) e multiplique por 100; inserir o resultado na coluna "RESULTADO" da segunda tabela.

Interpretação:

- abaixo de - 40 = canhoto

- entre - 40 e + 40 = ambidestro

- acima de 40 = destro

ANEXO IV

Questionário de Segurança Para aplicação de Estimulação Magnética Transcraniana (EMT).

| | | |
|------------|----------------------|-----|
| Nome: | Data ___ / ___ / ___ | N.º |
| Avaliador: | | |

Questionário para EMT

Você alguma vez:

| | Sim | Não |
|--|------------|------------|
| Fez um teste de TMS? | | |
| Teve alguma reação adversa ao TMS? | | |
| Teve algum ataque epilético? | | |
| Perdeu inexplicavelmente a consciência? | | |
| Teve um derrame (AVC)? | | |
| Teve alguma lesão grave na cabeça? | | |
| Fez alguma cirurgia na cabeça? | | |
| Teve alguma doença neurológica ou associada ao cérebro? | | |
| Teve alguma doença que possa ter causado alguma lesão cérebro? | | |
| Sente dores de cabeça frequentes ou muito fortes? | | |
| Tem alguma peça de metal em sua cabeça (sem ser na boca), tal como um pedaço de projétil, grampos cirúrgicos, ou chapas metálicas? | | |
| Tem algum aparelho médico implantado, tais como marcapassos cardíacos, ou alguma bomba médica? | | |
| Está tomando alguma medicação? | | |

| | | |
|--|--|--|
| Você esta grávida, ou está em dúvida se está grávida? | | |
| Alguém na sua família tem ou teve epilepsia? | | |
| Você precisa de algum outro esclarecimento em relação ao TMS ou a seus possíveis riscos? | | |

Para QUALQUER resposta 'Sim', favor fornecer maiores informações.



ANEXO V
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Ciências da Saúde
Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho
Laboratório de Neurobiologia II



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Essas informações estão sendo fornecidas para sua participação voluntária neste estudo, que visa observar como a emoção poderia afetar a preparação para o movimento. Ele fará parte da tese de doutorado de Anaelli A Nogueira Campos sob a orientação da professora doutora Cláudia Domingues Vargas.

Se você concordar em participar, primeiramente, serão colocados eletrodos em músculos da sua mão (para coleta da atividade elétrica muscular). Depois, sua cabeça será medida com uma fita métrica e um ponto será marcado com uma caneta marcadora de pele, cuja marca sai facilmente com o banho, além de ficar invisível, pois será feita sob os cabelos. Você receberá pulsos de estimulação magnética na cabeça, absolutamente indolores e inofensivos, sentado em uma cadeira confortável, numa sala com ar condicionado. Durante a aplicação dos pulsos, um experimentador irá apresentar a você vários copos com diferentes conteúdos (agradáveis, neutros e desagradáveis), lacrados, que devem ser **pegos** ao acender de uma luz, em alguns blocos, e apenas **observados** em outros blocos. O experimento será dividido em quatro blocos. Entre eles você terá a oportunidade de relaxar e se movimentar um pouco para descansar. Se você assentir em participar, a duração total prevista para este experimento é de aproximadamente uma hora.

Todos os procedimentos a serem utilizados durante este experimento não oferecem nenhum tipo de risco ou desconforto a você. Da mesma maneira, não oferecem nenhum benefício. Informamos que você não será compensado financeiramente por sua participação.

Saiba que, em qualquer etapa do experimento você terá acesso à experimentadora responsável: **Anaelli A Nogueira Campos**, que pode ser encontrada através do telefone **(21) 2562-6556** (Laboratório de Neurobiologia II); **(21) 2556-5070** (Residência); **(32) 8819-0410** (Celular). Se você tiver alguma consideração ou dúvida sobre a ética da

pesquisa, entre em contato com o comitê de ética em pesquisa (CEP) sala D01- 46 – 1º andar, HU, Telefone: (21) 2562-2480 – Email: ccp@hucff.ufrj.br

Nós garantimos que você é inteiramente livre para não aceitar participar do experimento. Se você aceitar, também garantimos que você é livre para interromper o experimento a qualquer momento, ou retirar seu consentimento quando quiser, se sentir necessidade, sem ser prejudicado de nenhuma forma por isso.

Afiançamos também que, se você aceitar participar, os dados aqui colhidos serão mantidos em sigilo e você será identificado durante as análises desse experimento apenas com um número. As informações obtidas serão analisadas em conjunto com a de outros participantes, não sendo divulgada a identidade de nenhum participante. Garantimos proteção contra qualquer tipo de discriminação gerada por sua participação nas pesquisas. Você tem o direito de ser informado dos resultados da pesquisa se assim o desejar. Informamos ainda que você não receberá nenhuma forma de ressarcimento por despesas como passagens ou alimentação. Como este experimento não oferece risco, não haverá nenhuma forma de indenização.

Como pesquisadora responsável, comprometo-me a utilizar os dados coletados somente para esta pesquisa, justificando, o destino e a necessidade de utilização para estudos futuros. Qualquer dúvida, pergunte à experimentadora Anaelli A Nogueira Campos.

Assinatura da experimentadora:

TERMO DE CONSENTIMENTO

Acredito ter sido suficientemente informado a respeito das informações sobre o estudo acima citado que li ou que foram lidas para mim. Eu discuti com a pesquisadora Anaelli A Nogueira Campos sobre a minha decisão em participar nesse estudo. Ficaram claros para mim quais são os propósitos do estudo, os procedimentos a serem realizados, seus desconfortos e riscos, as garantias de confidencialidade e de esclarecimentos permanentes. Ficou claro também que minha participação é isenta de despesas. Concordo voluntariamente em participar deste estudo e poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento, antes ou durante o mesmo, sem penalidades ou

prejuízo, nem perda de qualquer benefício que eu possa ter adquirido, ou no meu atendimento nesta instituição.

Nome do participante:

Assinatura do participante:

Data:

___/___/___

ANEXO VI

Instrução para o experimento de EMT

Instrução dada aos participantes durante a condição AÇÃO do experimento.

Sua **TAREFA** é a seguinte:

Quando um copo aparecer na sua frente, olhe para ele tentando identificar o seu conteúdo.

Ao final do experimento iremos fazer perguntas sobre os copos.

Quando a luz vermelha na frente do copo acender, pegue **IMEDIATAMENTE** e o mais rápido possível o copo, com a mão esquerda e traga-o em direção ao seu corpo, sem retirar o cotovelo da mesa.

Em seguida, recoloque o copo no lugar, coloque a mão sobre a mesa, próximo à marcação e aguarde o aparecimento do próximo copo.

Esse movimento não precisa ser executado lentamente.

Não fale, nem sem mova durante a apresentação de cada copo. Se você precisar falar, se mover, ou pedir algo, nos avise antes da apresentação do próximo estímulo, quando o experimentador retirar o copo.

Instrução dada aos participantes durante a condição NÃO-AÇÃO do experimento.

Agora sua **TAREFA** é a seguinte:

Quando um copo aparecer na sua frente, olhe para ele tentando identificar o seu conteúdo.

Ao final do experimento iremos fazer perguntas sobre os copos.

Quando a luz vermelha na frente do copo acender, não faça nenhum movimento.

Não fale, nem sem mova durante a apresentação de cada copo. Se você precisar falar, se mover, ou pedir algo, nos avise antes da apresentação do próximo estímulo, quando o experimentador retirar o copo.

ANEXO VII

Localização do Córtex Motor Primário pela EMT

Planilha empregada no experimento de EMT para determinar o ponto de estimulação ao longo do córtex motor primário direito dos participantes. A linha representada pelas letras refere aos pontos usados para guiar a estimulação ao longo da linha média, indicando assim a extensão no eixo ântero-posterior (x). A coluna representada pelos números refere aos pontos usados para guiar a estimulação ao longo do eixo látero-lateral (y), sendo o Cz o ponto central usado como referência.

O ponto definido para cada participante está representado pelos números em vermelho.

| Cz (0,0) | A | B | C | D | E | F |
|----------|-----------|-----------------------|----------|----------|---|---|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | 2 | | | 3 | | |
| 6 | 10 | 4 | 8 | | | |
| 7 | | 1, 5, 6, 7 e 9 | | | | |
| 8 | | | | | | |

ANEXO VIII

Estímulos selecionados a partir do Relato Avaliativo I.

| AGRADÁVEL | NEUTRO | DESAGRADÁVEL |
|------------------------|----------------|------------------------|
| brigadeiro | durex | vômito falso |
| dinheiro | papel amassado | biscoito com uma mosca |
| preservativo | clips de metal | baratas |
| celular moderno | clips pretos | fezes falsas |
| figurinhas de futebol | esponja | comida podre |
| carrinhos de brinquedo | cola em bastão | bolo com cabelo |
| bolas | apontador | rato morto |
| controle de TV | baterias | alcachofra podre |
| MP3 player | fios | pé de galinha podre |
| relógio de pulso | linha de tricô | aranha falsa |
| troféu | grampos | olhos de peixe |
| talento | borrachas | moela |
| cricas | plástico | dentadura |
| mini-game | cotonete | cobra falsa |

ESTÍMULOS AGRADÁVEIS



ESTÍMULOS NEUTROS



ESTÍMULOS DESAGRADÁVEIS



ANEXO IX

Manuscrito preparado a partir dos resultados apresentados na presente tese e que foi submetido para o periódico *Cerebral Cortex*

Title: Preparing to Grasp Emotionally Laden Stimuli: Effects on Corticospinal Excitability

Authors: Nogueira-Campos, A.A.^{1,2}; Oliveira, L.A.S.^{1,3}; Della-Maggiore, V.⁴; Esteves, P.O.¹; Rodrigues, E.C.³; Vargas, C.D.¹.

Institutional Affiliations:

¹ Laboratory of Neurobiology II, Neurobiology Program, Institute of Biophysics Carlos Chagas Filho, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil.

² Department of Physiology, Federal University of Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brazil.

³ Pos-graduation Program in Rehabilitation Sciences, Augusto Motta University Center, Rio de Janeiro, Brazil.

⁴ Department of Physiology and Biophysics, School of Medicine, University of Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

Address: Corresponding author - Claudia Domingues Vargas

Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho. Av. Carlos Chagas Filho, 373, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Ilha do Fundão 21941-902 Rio de Janeiro – RJ 21949-900, Brasil. E-mail: cdvargas@biof.ufrj.br (C.D. Vargas)

Brief running title: Emotion affects motor preparation

Abstract

Evolutionary theories posit that emotions prime organisms for action. To investigate the influence of emotion on action, this study examined if corticospinal excitability (CSE) during motor preparation is modulated by the emotional valence of the stimulus to be grasped. We also examined if CSE modulation is specific to the muscle directly enrolled in the task. CSE of the *first dorsal interosseous* (FDI) and the *abductor digiti minimi* (ADM) muscles were estimated based on the amplitude of motor evoked potentials elicited using Transcranial Magnetic Stimulation (TMS). Participants were instructed to grasp (ACTION condition) or just to look (NO-ACTION condition) emotionally laden stimuli while single TMS pulses were applied randomly 500 or 250ms before a go signal. A double dissociation was found specifically for the ACTION condition: CSE was higher during preparation to grasp unpleasant compared to pleasant and neutral stimuli and lower for pleasant compared to neutral stimuli for the FDI, the muscle directly enrolled in the task. Conversely, no valence modulation on CSE was found for the ADM muscle. Finally, there was no valence effect during the NO-ACTION condition. Taken together these results indicate that motor preparation is selectively modulated by the valence of the stimulus to be grasped.

Keywords: Transcranial magnetic stimulation, emotional valence, motor preparation, motor evoked potentials.

Introduction

Humans are continuously faced with multiple opportunities to act. Most of these actions comprise interactive behaviors with different objects. Actions can thus be thought of as the product of preparatory processes that prime the organism for efficient and appropriate interactions with the environment (Requin et al. 1991).

Emotions induce motivational predispositions and prepare individuals for action (Lane et al. 1997; Bradley et al. 2001). Numerous studies have sought to describe the influence of emotion on the motor system. For instance, observation of pictures and videos depicting emotional contexts has been shown to enhance spinal reflexes (Bonnet et al. 1995; Both et al. 2003) and startle reflex responses (Vrana et al. 1988; Lang et al. 1990; Bradley et al. 1993; Bradley and Lang 2000). Also, the emotional context affects postural control (Azevedo et al. 2005; Facchinetti et al. 2006), reaction time (Pereira et al. 2006), force production (Coombes et al. 2006), arm/eye kinematic profiles (Ferri et al. 2010; West et al. 2011), recruits motor circuits (Pereira et al. 2010; Coombes et al. 2012) and triggers patterns of approach and avoidance (Chen and Bargh 1999; Duckworth et al. 2002).

Corticospinal excitability (CSE), as measured through Transcranial Magnetic Stimulation (TMS), is modulated by observation of emotional pictures (Oliveri et al. 2003; Baumgartner et al. 2007; Hajcak et al. 2007; Schutter et al. 2008; Coelho et al. 2010). Likewise, CSE is affected by picture viewing followed by movement execution (Coombes et al. 2009; van Loon et al. 2010). For example, Coombes et al. (2009) measured CSE immediately before the extension of wrist and fingers performed during the presentation of pleasant, unpleasant and neutral pictures. CSE was greater when participants viewed unpleasant than neutral pictures. Moreover, van Loon et al. (2010) examined the effect of emotional context on CSE using a choice reaction time task in

which participants were instructed to press a button to indicate if two symbols were equal or different while viewing task-irrelevant pleasant, neutral or unpleasant pictures. Results showed that CSE was greater while viewing unpleasant compared to pleasant and neutral pictures. This response pattern was found only when the TMS pulse was applied closer in time to the imminent response (van Loon et al. 2010). The influence of emotion on action has also been studied through the readiness potential, an electrophysiological marker of motor preparation. Using this experimental approach, Grecucci et al. (2009) showed a larger readiness potential when a button press movement was performed after viewing unpleasant compared to neutral pictures.

Although the aforementioned studies show evidence supporting an emotional effect of valence and/or arousal on motor preparation, none of them directly manipulated the emotional content of the objects to be acted upon. In other words, those experimental paradigms did not require an interaction with the source of emotion. An action oriented to emotionally-laden objects could mimic, in a more reliable way, motor interactions performed in the real world. In a previous work, our group measured the readiness potential preceding a grasping movement directed to pleasant, unpleasant and neutral stimuli presented in a see-through container (Oliveira et al. 2012). We showed that the readiness potential was reduced preceding the grasping of pleasant and enlarged preceding the grasping of unpleasant stimuli as compared to the grasping of neutral stimuli. One interpretation of these results is that preparing to interact with pleasant stimuli recruits pre-set approach-like motor repertoires, whereas preparing to interact with unpleasant stimuli creates a conflict between the required action and its aversiveness. This was the first evidence indicating that an electrophysiological signal related to motor preparation is affected by the emotional value of the stimulus to be grasped.

Although there is little doubt that the readiness potential reflects preparatory activity, it is also typically modulated by other factors such as motivation and arousal (Masaki et al. 2000; Bortoletto et al. 2011) and may also reflect executive processes involved in the decision to act. In addition, the low spatial resolution characterizing this electrophysiological marker does not allow identifying the areas of the motor system driving the modulation of the physiological response. Here, we directly tested the effect of preparing to grasp emotionally laden stimuli by using TMS to assess the excitability of the corticospinal pathway for muscles involved in this action. Furthermore, to determine if the emotional effect varied according to the temporal course of motor preparation, TMS stimulation was applied at two different time points relative to the imperative response. We hypothesized that CSE preceding a grasping movement would be affected by the emotional valence of the stimulus to be grasped in a muscle specific manner. More specifically, we predicted that CSE would be lower when preceding the grasping of pleasant stimuli and higher when preceding the grasping of unpleasant stimuli.

Materials and Methods

Participants

Ten right-handed male undergraduate and graduate students aged between 21-36 years (mean 27.7, S.D. 4.12) participated in this study. None of them had personal or family history of epilepsy nor presented any neurological or psychiatric disorders. Handedness was assessed through the Edinburgh Inventory (Oldfield 1971). All participants gave informed written consent for their participation in the study, which was approved by the local ethics committee (004/09) and carried out according to the Declaration of Helsinki.

Stimuli Selection

A set of 60 stimuli, transparent cylinders sealed with plastic film containing emotional laden objects, was previously categorized (Oliveira et al. 2012) by means of the *Self-assessment Manikin scale* (SAM). This is an affective rating system devised by Lang et al. (2008), in which each stimulus were classified in the valence and arousal dimensions. In this system, ratings of valence are indicated by 5 graphical representations of facial expressions ranging from a severe frown (most negative) to a broad smile (most positive). For arousal, this scale varies from a state of low to high agitation. Participants might select any of the five figures, or spaces in between, on a nine point rating scale for each dimension. In the valence dimension 9 represents the extreme of pleasantness and 1 the extreme of unpleasantness. Likewise, for arousal, 9 represents a high rating and 1 represents a low rating. Using this scale, participants classified their interaction with each stimulus in both dimensions. From that set, a total of 42¹ stimuli, 14 from each category were selected. The 14 stimuli whose valence was rated around “2” were classified as unpleasant, the 14 rated around “7”, as pleasant and the 14 rated around “5”, as neutral. These unpleasant and pleasant stimuli had similar levels of arousal and both had higher levels of arousal as compared to neutral stimuli. Identical cylinders (height 9.7 cm and radius: 3.5 cm) were employed to equalize hand aperture of participants during action. Furthermore, stimuli weight was balanced across emotional categories (pleasant: 312.5 ± 38.9g; unpleasant: 314.3 ± 38.9g and neutral: 292.9 ± 48.5g). A one way ANOVA yielded no statistically significant differences in weight [F (2, 39) = 1.11, p = 0.34].

¹NOTE: Stimuli selected: PLEASANT: Chocolate, money, wrapped condom, mobile phone, soccer cards, toys, gold trophy, ball, candy, television remote control, MP3,

marbles, wrist watch and pocket game; UNPLEASANT: cake with hair, embalmed vomit, embalmed cockroach, artificial excrement, embalmed gizzard, rotten food, bluebottle fly on a biscuit, embalmed dead rat, rotten artichoke, embalmed chicken foot, artificial spider, artificial snake, embalmed fish eye and dentures; NEUTRAL: eraser, adhesive tape, pencil sharpener, crumpled paper ball, silver paper clips, binder clips, sponge, stick glue, piece of plastic bag, alkaline battery, cotton balls, pieces of colored wire, spun wool and strip of staples.

Procedure

Participants sat on a comfortable chair in front of a table where the stimulus (cylinder containing the emotional laden object) was presented on a sliding slab by an experimenter sitting behind a black curtain. Participants did not see the experimenter at any time. At the beginning of each trial the left arm of the participant laid with the palm facing down over the table (initial position). The right hand was placed over a pillow under the table throughout the experimental session. Three seconds after each stimulus presentation a red light positioned in front of it was turned on (go signal). Immediately after this go signal the participant should pick up the stimuli with his left hand, bring it close to his chest, put it down on the sliding slab and return his hand to the initial position (ACTION condition). The time interval elapsed between the presentation of the stimulus and the go signal was therefore considered here as the preparatory period.

To ensure that the emotional effects were specific to motor preparation and not due to the presence of the emotional laden stimulus in the scene, another experimental condition was added to the experiment. In this condition participants were instructed to observe the stimuli and to not move after the red light turned on (NO-ACTION). The experiment started with a training session of both conditions to familiarize participants

with the setup. Three stimuli (one of each category), not employed in the experimental session, were presented as described above until the participants reported being comfortable with the experimental set up.

During the experimental session each stimulus was presented once in a randomized block of 42 trials (14 unpleasant, 14 neutral and 14 pleasant). There was a total of four blocks, two blocks per condition (ACTION and NO-ACTION). Blocks were presented in a pseudo-randomized order. Half of the participants performed the task beginning with the ACTION followed by the NO-ACTION block and the other half, with the NO-ACTION followed by the ACTION block. For each condition, TMS pulses were delivered at 500 ms or 250 ms before the red light turned on (go signal), following a randomized design. TMS pulses were applied in different time points to investigate if the valence effect varied according to the temporal course of motor preparation. These moments in time (500 and 250 ms) were chosen due to the pronounced suppression of CSE they evidenced in recent studies (Hasbroucq et al. 1997; Davranche et al. 2007). Blocks were separated by approximately 3 min of rest. During this period, instructions concerning the upcoming block were repeated. At the end of the experiment, subjects rated their interaction with each stimulus based on valence and arousal (see below). The total duration of the experiment was about 90 minutes.

Stimulus Rating

The interaction with the 42 stimuli during the TMS session was evaluated at the end of the experiment. Upon stimulus presentation participants had 10 seconds to classify how they had felt about their interaction with each stimulus in the affective rating scale (SAM) (Lang et al. 2008), using the same procedures described in stimuli

selection session. Then, ratings were averaged per participant for both emotional dimensions (valence and arousal).

Transcranial Magnetic Stimulation

For TMS pulse application, a figure of eight coil powered by a MagPro stimulator (MagVenture, Denmark) was employed. A cap containing a 1cm² spaced grid was positioned over the participant's skull in order to guide the TMS coil placement. Earplugs were provided to protect participants' hearing. The coil was placed above the right scalp of the participant over the primary motor cortex, tangential to the skull, sagittally oriented with the handle pointing downwards. Resting motor threshold (rMT) was defined as the minimal intensity of stimulation at the optimal location that elicited motor evoked potentials (MEPs) from the *first dorsal interosseous* (FDI) larger than 100 μ V (peak-to-peak amplitude) in at least 3 of 6 pulses. Stimulation intensity was then set at 120% of the motor threshold to evoke MEPs in that muscle.

Electromyographic Signal Acquisition

The electromyographic (EMG) signal was recorded using three pairs of Ag-AgCl electrodes, in a bipolar montage, over the belly of the FDI, abductor digiti minimi (ADM) and extensor digitorum communis (EDC) muscles of the left arm. Motor evoked potentials elicited by TMS pulses were recorded from FDI and ADM muscles. FDI was chosen for being directly involved in the action of grasping whereas the ADM was used as a control muscle. Given that the EDC muscle acts as a wrist stabilizer during reaching and grasping movements, its activity was used as a marker of movement onset to measure response time in the ACTION condition. Herein, response time was therefore defined as the time interval elapsed between the go signal and the

moment in which the EMG activity of the EDC reached 5% of its maximum amplitude (figure 1). Also, trials in which participants began the movement before the go signal were computed as error rate. EMG activity was recorded using an EMG100 acquisition module coupled to an MP150 amplifier (BIOPAC Systems Inc, Goleta CA, USA) and stored on a computer for offline analysis. Data was sampled at 20 KHz and band-pass filtered between 10 and 5 KHz, with a 60 Hz notch filter.

--- insert figure 1 about here ---

MEP Data Analysis

Motor evoked potentials (MEP) were quantified based on their peak-to-peak amplitude using MATLAB routines (Mathworks, USA). The EMG signal was visually inspected throughout the experiment to check if there was any EMG activity before the TMS pulse. Furthermore, the root-mean-square (RMS) of the EMG activity (measured 200ms before the TMS pulse) was calculated offline and trials were discarded when the EMG activity exceeded twice the RMS from all trials. After removing outliers, MEP amplitude was normalized for each trial within block and within condition ($\text{MEP} - \text{MEP minimum} / \text{MEP maximum} - \text{MEP minimum}$). This normalization process scaled MEP values between 0 to 1. Finally, MEP amplitude was averaged for each subject and each condition across blocks.

Statistical Analysis

Statistical analysis of the stimulus rating, MEP amplitude and reaction time measures were performed using repeated measures ANOVA with a statistical package (SPSS software package; San Rafael, CA). For the statistical assessment of response

time, values were \log_{10} transformed. Fisher post-hoc analysis was employed to test individual comparisons whenever a statistical significance was found. In all statistical tests, differences were considered significant if $p \leq 0.05$. T tests were also conducted to explore significant interactions.

Results

Stimulus Rating

As expected, one-way repeated measures ANOVA yielded a main effect for valence (neutral, pleasant and unpleasant) [$F(2, 18) = 20.07, p < 0.01$]. Post hoc analysis revealed that the interaction with unpleasant stimuli (mean 3.3 ± 1.03 standard deviation) scored significantly lower in valence than neutral (5.1 ± 0.13) and pleasant stimuli (6.3 ± 1.16), whereas neutral stimuli scored significantly lower than pleasant ones ($p < 0.01$). In addition, there was a main effect for arousal ($F(2, 18) = 7.19, p < 0.01$). Post-hoc analysis revealed that unpleasant (4.3 ± 1.21) and pleasant stimuli (4.3 ± 1.46) scored similarly in terms of arousal ($p = 0.99$) but both scored significantly higher than neutral stimuli ($2.7 \pm 1.58, p < 0.01$), see figure 2.

--- insert figure 2 about here ---

Response Time

A one-way repeated measures ANOVA yielded no significant main effect of valence [$F(2,18) = 0.09, p = 0.92$] on response time, indicating that the valence of the grasped stimuli does not bear any effect upon this parameter. Error rates for movements towards unpleasant, pleasant, and neutral stimuli were 6.07%, 2.86%, and 2.86%, respectively, and did not differ statistically [$F(2,18) = 1.78, p = 0.19$].

Motor Evoked Potentials

A four-way repeated-measures ANOVA with condition (ACTION and NO-ACTION), valence (unpleasant, neutral and pleasant), muscle (FDI and ADM) and stimulation time (250 and 500 ms before movement onset) was conducted to assess differences in MEP amplitudes. This analysis yielded a significant condition x valence x muscle interaction [$F(2, 18) = 5.97, p = 0.01$]. Given that there was not significant interaction with stimulation time [$F(2,18) = 0.37, p = 0.70$] we collapsed MEP values across stimulation times and conducted a three-way repeated measures ANOVA with condition, valence and muscle as factors. This analysis yielded a significant condition x valence x muscle interaction [$F(2, 18) = 5.97, p = 0.01$]. We further explored this interaction by running two-way repeated-measures ANOVA for the FDI and one for the ADM. The two-way ANOVA for FDI, which is directly enrolled in the grasping movement, yielded a main effect of condition [$F(1, 9) = 5.21; p = 0.05$], valence [$F(2, 18) = 3.51; p=0.05$] and a significant condition x valence interaction [$F(2, 18) = 8.15, p = 0.003$]. Further assessment of this interaction through t tests revealed that MEP amplitudes for the ACTION condition were larger for unpleasant than pleasant and neutral stimuli ($p = 0.0002$ and $p = 0.02$, respectively). Yet, MEP amplitudes for pleasant stimuli were smaller than neutral stimuli ($p = 0.04$). There was no significant valence effect for the NO-ACTION condition. The two-way ANOVA for the ADM yielded a marginally significant main effect of condition [$F(1, 9) = 4.71; p = 0.06$] but no main effect of valence [$F(2, 18) = 2.05; p = 0.16$] nor significant condition x valence interaction [$F(2, 18) = 0.28, p = 0.76$].

--- insert figure 3 about here ---

Discussion

In the present study we examined the effect of grasping emotionally laden

stimuli on motor preparation by applying TMS pulses before the beginning of the movement. Participants grasped stimuli with neutral, pleasant or unpleasant valence (ACTION blocks) or observed the stimuli without acting on them (NO-ACTION blocks). Our results showed that CSE preceding the grasping movement was specifically affected by the emotional valence of the stimulus, regardless of the TMS stimulation time. We found that CSE of the muscle involved in the action increased during preparation to grasp unpleasant compared to pleasant and neutral stimuli, and decreased during preparation to grasp pleasant compared to neutral stimuli.

Previous studies that examined the effect of passive observation of emotional stimuli such as fearful faces (Schutter et al. 2008), IAPS pictures (Oliveri et al. 2003; Hajcak et al. 2007; Coelho et al. 2010) and pictures combined with music (Baumgartner et al. 2007) on CSE implied an effect of emotion over the motor system. Nevertheless, none of these experimental protocols involved movement execution nor employed valence-laden objects.

On the other hand, the influence of emotional context was investigated by measuring CSE during a reaction time task (Coombes et al. 2009; van Loon et al. 2010). The authors showed that CSE was greater when participants viewed unpleasant pictures. Although the effect of those emotional settings upon CSE was clearly demonstrated, in none of these studies the putative action was directed towards an emotional source. To the best of our knowledge, our study is the first to investigate if CSE is modulated during movement preparation to grasp emotionally laden stimuli. Stimuli interaction ratings for unpleasant and pleasant stimuli were similar in terms of arousal but differed in terms of valence, suggesting that grasping these stimuli induced distinct emotional states in participants. In addition, CSE was higher for the FDI muscle when the movement was directed to unpleasant rather than pleasant and neutral stimuli,

and lower when it was directed to pleasant than neutral stimuli. This effect was not observed for the ADM muscle. In sum, our results indicate not only that emotionally laden stimuli in fact influence motor preparation, but also that this response is muscle-specific.

Although the results reported above identified the type of emotion and the action specificity subserving CSE facilitation, they do not rule out the possibility that stimulus presentation *per se* may have affected CSE. The fact that CSE was not modulated by the valence of the same stimuli during the NO-ACTION condition is against this possibility. In line with these findings, it has been previously shown that viewing emotional but not neutral stimuli selectively increases CSE during motor preparation for the hand used to press a force sensor but not for the non-used hand (van Loon et al. 2010). The fact that CSE modulation was not detected in NO-ACTION blocks, during which participants simply observed the stimuli, indicates that the effect of emotion on grasping is specific to motor preparation and not the result of a generalized effect induced by the presence of the emotional stimulus.

But what does a reduction in CSE during preparation to grasp pleasant compared to unpleasant stimuli reflect at the physiological level? Recent TMS studies have shown a suppression of CSE during motor preparation that could reflect the recruitment of inhibitory cortical and/or spinal circuitry (Hasbroucq et al. 1997, 1999; Touge et al. 1998; Davranche et al. 2007; Duque and Ivry 2009; Duque et al. 2010 and Cohen et al. 2010 for review). This effect is evident when the task requires withholding an action until the onset of an imperative signal. Duque and Ivry (2009) measured CSE during movement preparation as subjects performed a bimanual force choice-reaction time task. They showed that when hand movement is cued, CSE decreases specifically for the cued hand but not for the uncued hand. This effect has been interpreted as reflecting

an “impulse-control mechanism” to avoid a premature response in the execution of the intended action and thus ensure movement precision in time (Duque and Ivry 2009).

A similar mechanism could be at play when one prepares to act on emotionally laden stimuli: grasping pleasant stimuli would be subjected to impulse control in a similar way as intended actions whereas unpleasant stimuli would act as unintended actions. Specifically, the reduction in CSE observed preceding grasping of pleasant stimuli (relative to neutral stimuli) could reflect impulse control towards these stimuli. One might postulate that pleasant stimuli may trigger an urge to move that has to be refrained, what is reflected in a decrease in MEP amplitude. By the same token, the increase in CSE when preparing to grasp unpleasant stimuli (compared to neutral and pleasant stimuli) would reflect the lack of an impulse control mechanism as participants are not particularly prone to execute the action. Accordingly, physiological evidence for increased activity in motor related areas was reported both when a simple reaction time task was performed after viewing unpleasant pictures (Pereira et al. 2010) and also preceding the grasping of unpleasant stimuli (Oliveira et al. 2012). These findings were interpreted as resulting from the need to overpass preset withdrawal networks induced by the stimuli unpleasantness to comply with the instructions to perform the task.

Finally, no emotional valence effect was found for response time or error rates. There is evidence suggesting that emotion slows down the response on simple reaction time tasks during unpleasant compared to pleasant and neutral picture viewing (Hartikainen et al. 2000; Erthal et al. 2005; Pereira et al. 2006). However, contradictory effects of emotion on reaction time have been shown in TMS paradigms. For instance, Coombes et al. (2009) reported an emotional effect on a simple reaction time task. Participants were faster at wrist and finger extension when exposed to unpleasant as compared to pleasant and neutral pictures. In contrast, no effect of emotional picture

viewing on reaction time was reported by van Loon et al. (2010). Likewise, herein we found a lack of modulation both on response time and error rates.

In conclusion, we have shown that movement preparation is affected by the emotional value of the stimulus to be grasped. Specifically, we report a double dissociation on CSE with unpleasant stimulus increasing and pleasant stimulus decreasing motor excitability relative to neutral stimuli. We believe that this dissociation reflects respectively the unwillingness or the readiness to act. Our results are consistent with the hypothesis of impulse control, and strengthen our previous findings showing a modulation of emotionally-laden stimuli on the readiness potential (Oliveira et al. 2012).

Acknowledgements

The authors thank José Magalhães de Oliveira and Magno Almeida Cadengue for their technical support. This work was supported by Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior/Comitê Francês de Avaliação da Cooperação Universitária e Científica com o Brasil (CAPES/COFECUB) and Rede Instituto Brasileiro de Neurociência (IBN Net).

Disclosures

No conflicts of interest, financial or otherwise, are declared by authors.

Author contributions

Conceived and designed the experiments: AANC, LASO, ECR, VDM and CDV.
 Performed the experiments: AANC, LASO and POE. Analyzed the data: AANC, LASO
 and VDM. Wrote the paper: AANC, LASO, ECR, VDM and CDV.

References

- Azevedo TM, Volchan E, Imbiriba LA, Rodrigues EC, Oliveira JM, Oliveira LF, Lutterbach LG, Vargas CD. 2005. A freezing-like posture to pictures of mutilation. *Psychophysiology*. 42:255-260.
- Baumgartner T, Willi M, Jancke L. 2007. Modulation of corticospinal activity by strong emotions evoked by pictures and classical music: a transcranial magnetic stimulation study. *Neuroreport*. 18:261-265.
- Bonnet M, Bradley MM, Lang PJ, Requin J. 1995. Modulation of spinal reflexes: arousal, pleasure, action. *Psychophysiology*. 32:367-372.
- Bortoletto M, Lemonis MJ, Cunnington R. 2011. The role of arousal in the preparation for voluntary movement. *Biol Psychol*. 87:372-378.
- Both S, Everaerd W, Laan E. 2003. Modulation of spinal reflexes by aversive and sexually appetitive stimuli. *Psychophysiology*. 40:174-183.
- Bradley MM, Codispoti M, Cuthbert BN, Lang PJ. 2001. Emotion and motivation I: defensive and appetitive reactions in picture processing. *Emotion*. 1:276-298.
- Bradley MM, Cuthbert BN, Lang PJ. 1993. Pictures as prepulse: attention and emotion in startle modification. *Psychophysiology*. 30:541-545.
- Bradley MM, Lang PJ. 2000. Affective reactions to acoustic stimuli. *Psychophysiology*. 37:204-215.
- Chen MJ, Bargh A. 1999. Nonconscious approach and avoidance behavioral consequences of the autonomic evaluation effect. *Personal Social Psychology Bulletin*. 25:215-224.
- Coelho CM, Lipp OV, Marinovic W, Wallis G, Riek S. 2010. Increased corticospinal excitability induced by unpleasant visual stimuli. *Neurosci Lett*. 481:135-138.
- Cohen O, Sherman E, Zinger N, Perlmutter S, Prut Y. 2010. Getting ready to move: transmitted information in the corticospinal pathway during preparation for movement. *Curr Opin Neurobiol*. 20:696-703.
- Coombes SA, Cauraugh JH, Janelle CM. 2006. Emotion and movement: activation of defensive circuitry alters the magnitude of a sustained muscle contraction. *Neurosci Lett*. 396:192-196.
- Coombes SA, Tandonnet C, Fujiyama H, Janelle CM, Cauraugh JH, Summers JJ. 2009. Emotion and motor preparation: A transcranial magnetic stimulation study of corticospinal motor tract excitability. *Cogn Affect Behav Neurosci*. 9:380-388.

- Coombes SA, Corcos DM, Pavuluri MN, Vaillancourt DE. 2012. Maintaining force control despite changes in emotional context engages dorsomedial prefrontal and premotor cortex. *Cereb Cortex*. 22:616-627.
- Davranche K, Tandonnet C, Burle B, Meynier C, Vidal F, Hasbroucq T. 2007. The dual nature of time preparation: neural activation and suppression revealed by transcranial magnetic stimulation of the motor cortex. *Eur J Neurosci*. 25:3766-3774.
- Duckworth KL, Bargh JA, Garcia M, Chaiken S. 2002. The automatic evaluation of novel stimuli. *Psychol Sci*. 13:513-519.
- Duque J, Ivry RB. 2009. Role of corticospinal suppression during motor preparation. *Cereb Cortex*. 19:2013-2024.
- Duque J, Lew D, Mazzocchio R, Olivier E, Ivry RB. 2010. Evidence for two concurrent inhibitory mechanisms during response preparation. *J Neurosci*. 30:3793-3802.
- Erthal FS, de OL, Mocaiber I, Pereira MG, Hado-Pinheiro W, Volchan E, Pessoa L. 2005. Load-dependent modulation of affective picture processing. *Cogn Affect Behav Neurosci*. 5:388-395.
- Facchinetti LD, Imbiriba LA, Azevedo TM, Vargas CD, Volchan E. 2006. Postural modulation induced by pictures depicting prosocial or dangerous contexts. *Neurosci Lett*. 410:52-56.
- Ferri F, Stoianov IP, Gianelli C, D'Amico L, Borghi AM, Gallese V. 2010. When action meets emotions: how facial displays of emotion influence goal-related behavior. *PLoS One*. 5:
- Grecucci A, Balaban E, Buiatti T, Budai R, Rumiati RI. 2009. The emotional control of action: ERP evidence. *Arch Ital Biol*. 147:37-49.
- Hajcak G, Molnar C, George MS, Bolger K, Koola J, Nahas Z. 2007. Emotion facilitates action: a transcranial magnetic stimulation study of motor cortex excitability during picture viewing. *Psychophysiology*. 44:91-97.
- Hartikainen KM, Ogawa KH, Knight RT. 2000. Transient interference of right hemispheric function due to automatic emotional processing. *Neuropsychologia*. 38:1576-1580.
- Hasbroucq T, Kaneko H, Akamatsu M, Possamai CA. 1997. Preparatory inhibition of cortico-spinal excitability: a transcranial magnetic stimulation study in man. *Brain Res Cogn Brain Res*. 5:185-192.
- Hasbroucq T, Osman A, Possamai CA, Burle B, Carron S, Depy D, Latour S, Mouret I. 1999. Cortico-spinal inhibition reflects time but not event preparation: neural mechanisms of preparation dissociated by transcranial magnetic stimulation. *Acta Psychol (Amst)*. 101:243-266.
- Lane RD, Reiman EM, Bradley MM, Lang PJ, Ahern GL, Davidson RJ, Schwartz GE. 1997. Neuroanatomical correlates of pleasant and unpleasant emotion. *Neuropsychologia*. 35:1437-1444.
- Lang PJ, Bradley MM, Cuthbert BN. 2008. International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual. Technical Report A-8. University of Florida, Gainesville, FL.

- Lang PJ, Bradley MM, Cuthbert BN. 1990. Emotion, attention, and the startle reflex. *Psychol Rev.* 97:377-395.
- Masaki H, Takasawa N, Yamazaki K. 2000. Human movement-related brain potentials preceding voluntary movements in different arousal states monitored with skin potential level. *Percept Mot Skills.* 90:299-306.
- Oldfield RC. 1971. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia.* 9:97-113.
- Oliveira LAS, Imbiriba LA, Russo MM, Nogueira-Campos, AA, Rodrigues EC, Pereira MG, Volchan E, Vargas CD. 2012. Preparing to grasp emotionally laden stimuli. *PLoS One.* 7(9):e45235.
- Oliveri M, Babiloni C, Filippi MM, Caltagirone C, Babiloni F, Cicinelli P, Traversa R, Palmieri MG, Rossini PM. 2003. Influence of the supplementary motor area on primary motor cortex excitability during movements triggered by neutral or emotionally unpleasant visual cues. *Exp Brain Res.* 149:214-221.
- Pereira MG, Volchan E, de Souza GG, Oliveira L, Campagnoli RR, Pinheiro WM, Pessoa L. 2006. Sustained and transient modulation of performance induced by emotional picture viewing. *Emotion.* 6:622-634.
- Pereira MG, de OL, Erthal FS, Joffily M, Mocaiber IF, Volchan E, Pessoa L. 2010. Emotion affects action: Midcingulate cortex as a pivotal node of interaction between negative emotion and motor signals. *Cogn Affect Behav Neurosci.* 10:94-106.
- Requin J, Brener J, Ring C. 1991. Preparation for action. J Richard Jennings and Michael G.H.Coles. *Handbook of Cognitive Psychophysiology: Central and Autonomic Nervous System Approaches.* New York: Oxford, England: John Wiley & Sons. 357-448.
- Schutter DJ, Hofman D, van HJ. 2008. Fearful faces selectively increase corticospinal motor tract excitability: a transcranial magnetic stimulation study. *Psychophysiology.* 45:345-348.
- Touge T, Taylor JL, Rothwell JC. 1998. Reduced excitability of the cortico-spinal system during the warning period of a reaction time task. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 109:489-495.
- van Loon AM, van den Wildenberg WP, van Stegeren AH, Hajcak G, Ridderinkhof KR. 2010. Emotional stimuli modulate readiness for action: a transcranial magnetic stimulation study. *Cogn Affect Behav Neurosci.* 10:174-181.
- Vrana SR, Spence EL, Lang PJ. 1988. The startle probe response: a new measure of emotion? *J Abnorm Psychol.* 97:487-491.
- West GL, Al-Aidroos N, Susskind J, Pratt J. 2011. Emotion and action: the effect of fear on saccadic performance. *Exp Brain Res.* 209:153-158.

Figures

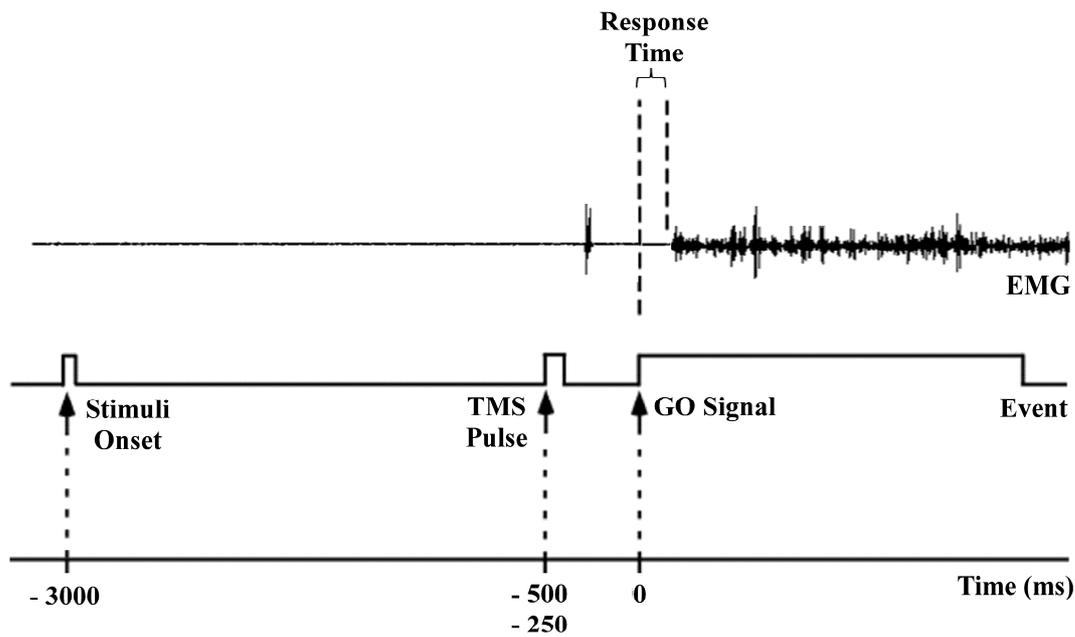


Figure 1: Experimental design. The arrival of the stimulus triggered a counting of 3 seconds after which a red light (go signal) would turn on, signaling that the participant should grasp it. TMS pulses were delivered at 500 ms or 250 ms before the go signal. The response time was measured as the interval between the go signal and the onset of electromyographic activity of the extensor digitorum communis.

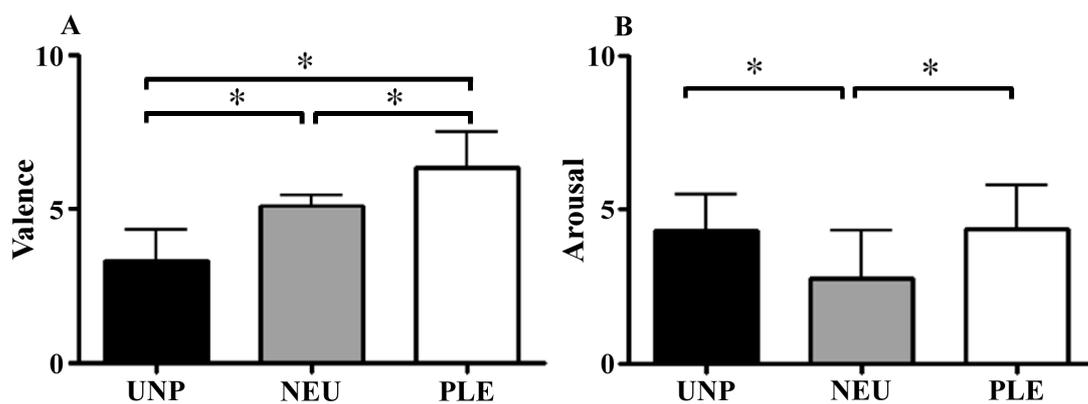


Figure 2: Mean and Standard deviation of stimuli ratings collected for the 42 stimuli.

A) Scores for Valence dimension. B) Scores for Arousal dimension. UNP = unpleasant,

NEU = neutral and PLE = pleasant (* $p < 0.05$).

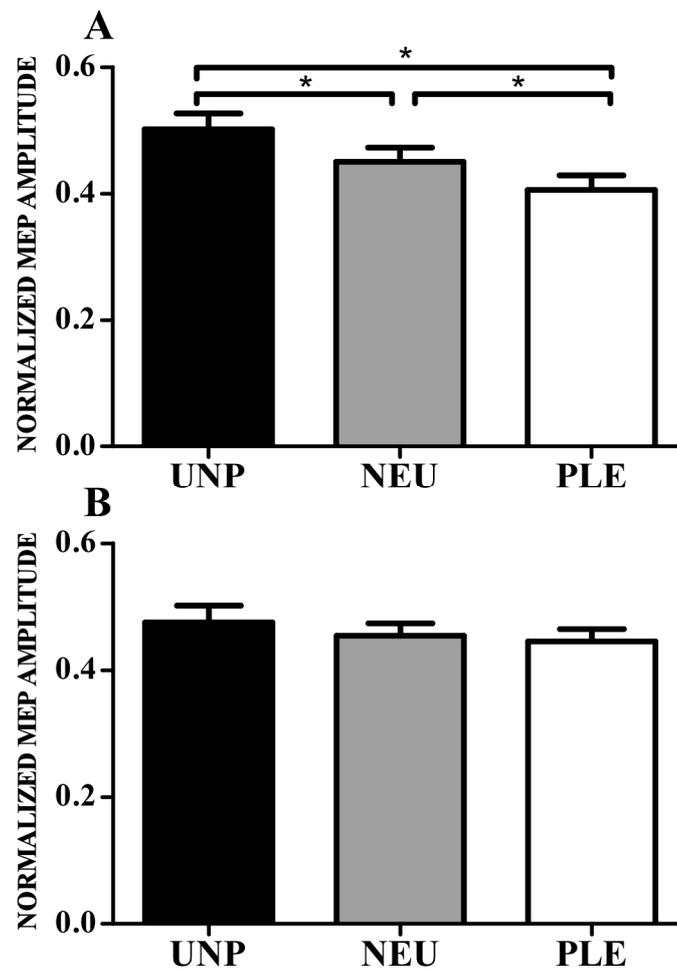
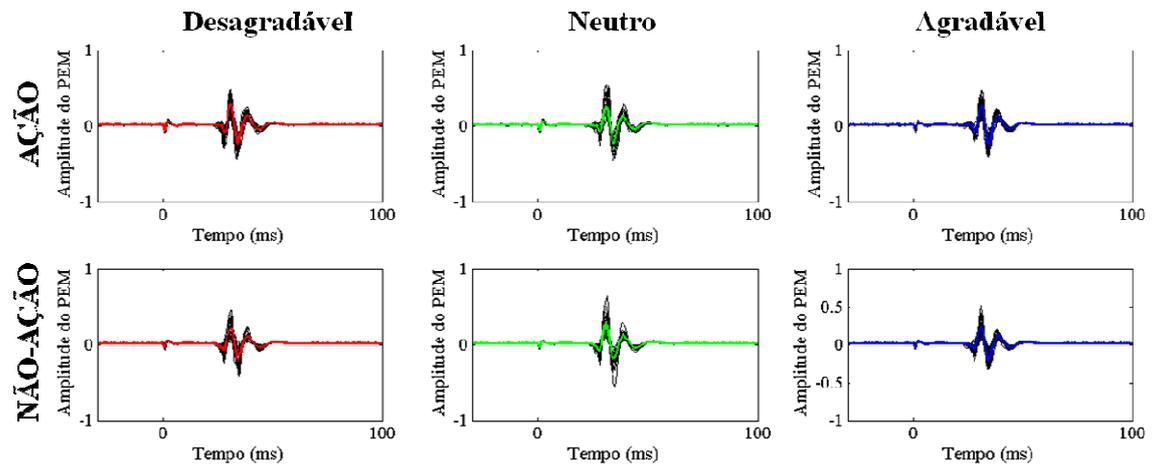


Figure 3: Motor evoked potential (MEP) amplitude during the ACTION condition. A) For the FDI muscle, MEP amplitude was higher during the preparation to grasp unpleasant compared to pleasant and neutral stimuli and lower for pleasant compared to neutral stimuli. B) For the ADM, there was no valence effect. UNP = unpleasant, NEU = neutral and PLE = pleasant (* $p < 0.05$).

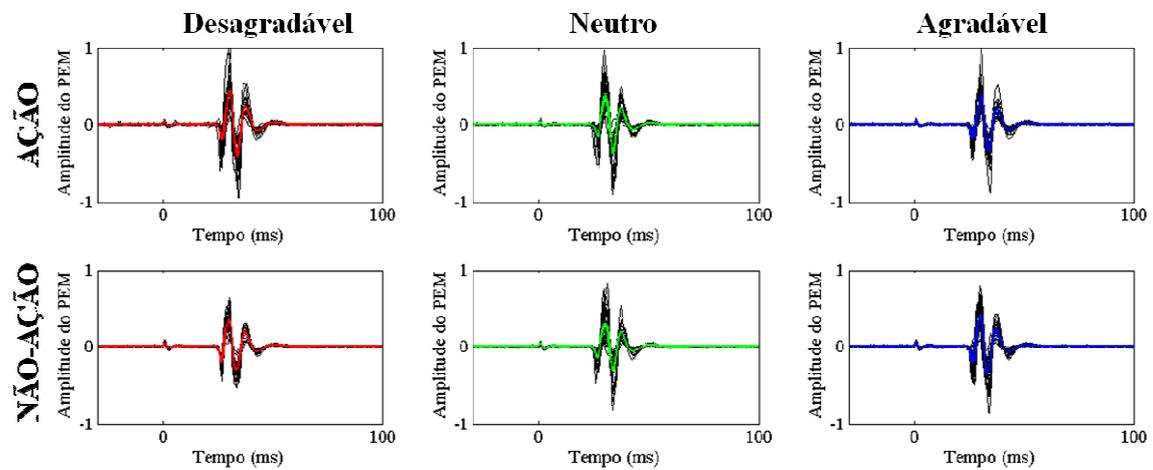
ANEXO X

Representação dos PEMs do músculo primeiro interósseo dorsal por condição e valência

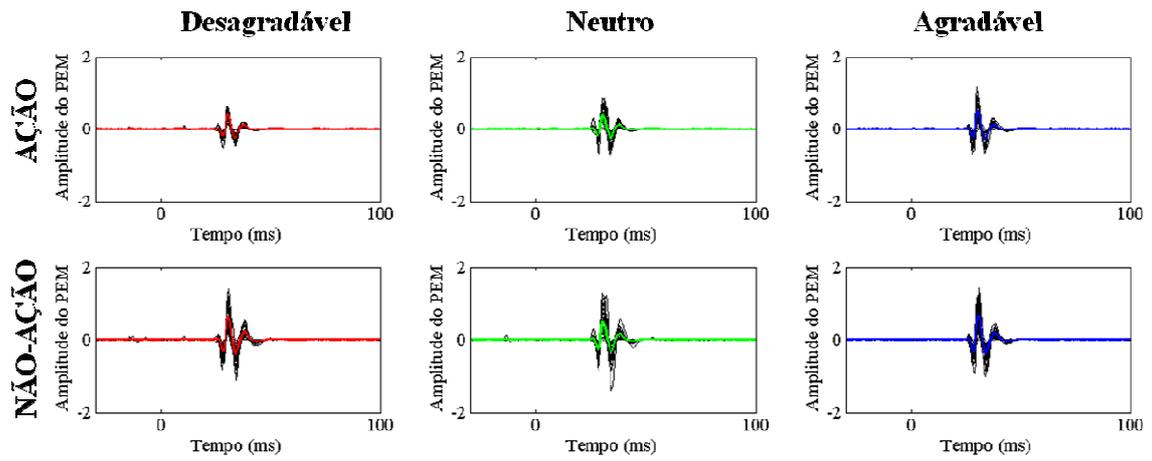
Voluntário 1



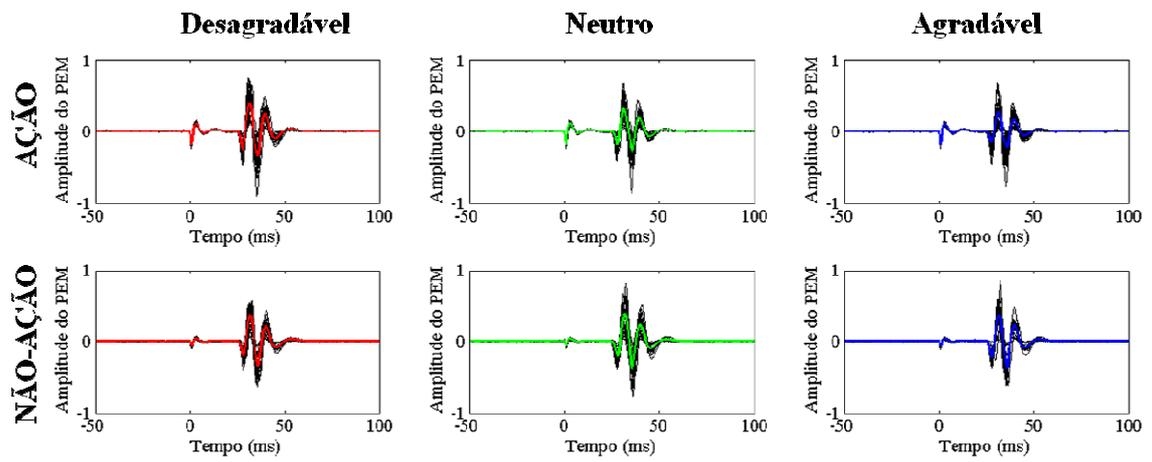
Voluntário 2



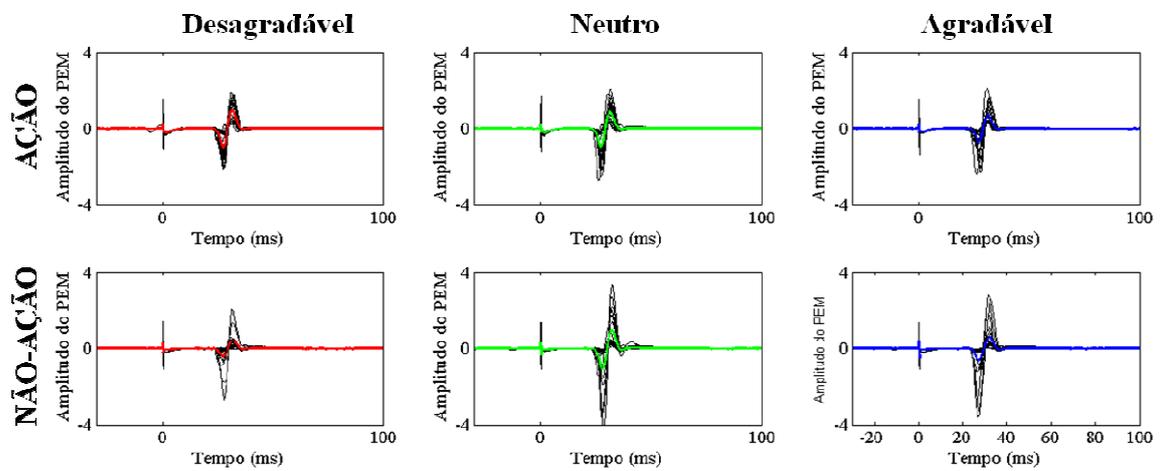
Voluntário 3



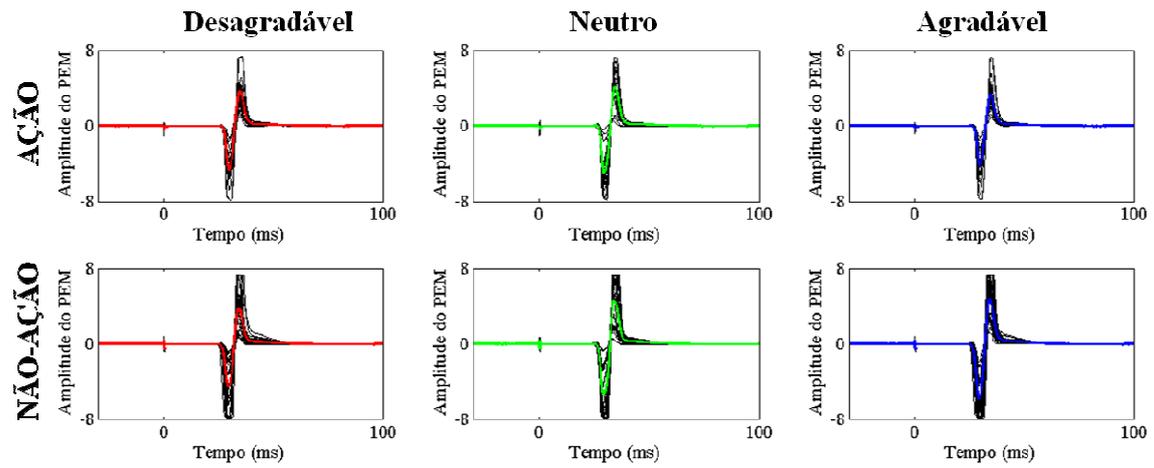
Voluntário 4



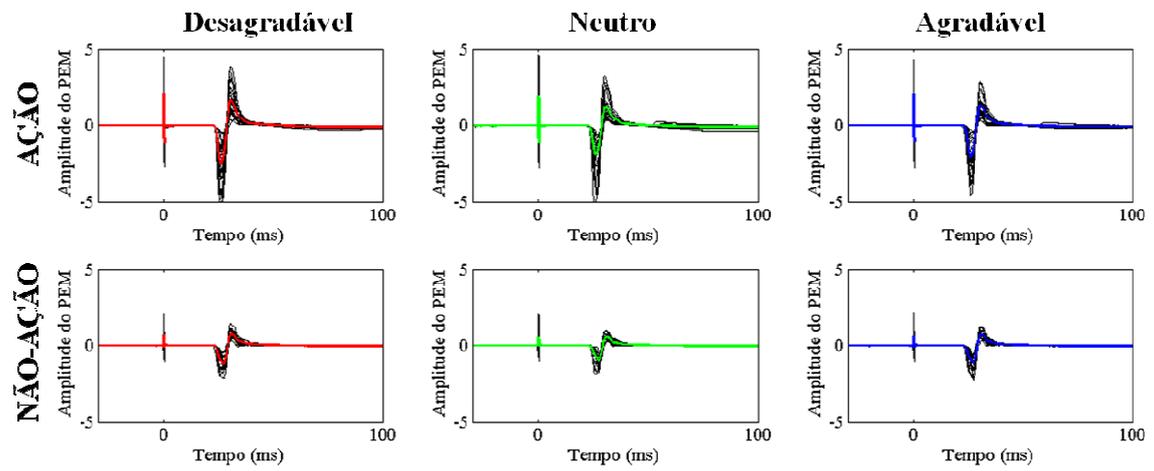
Voluntário 5



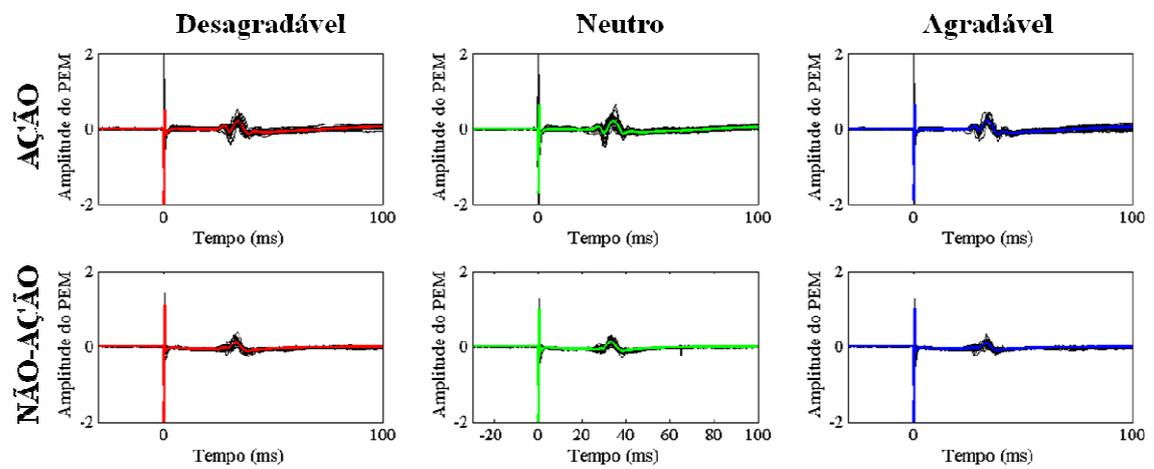
Voluntário 6



Voluntário 7



Voluntário 8



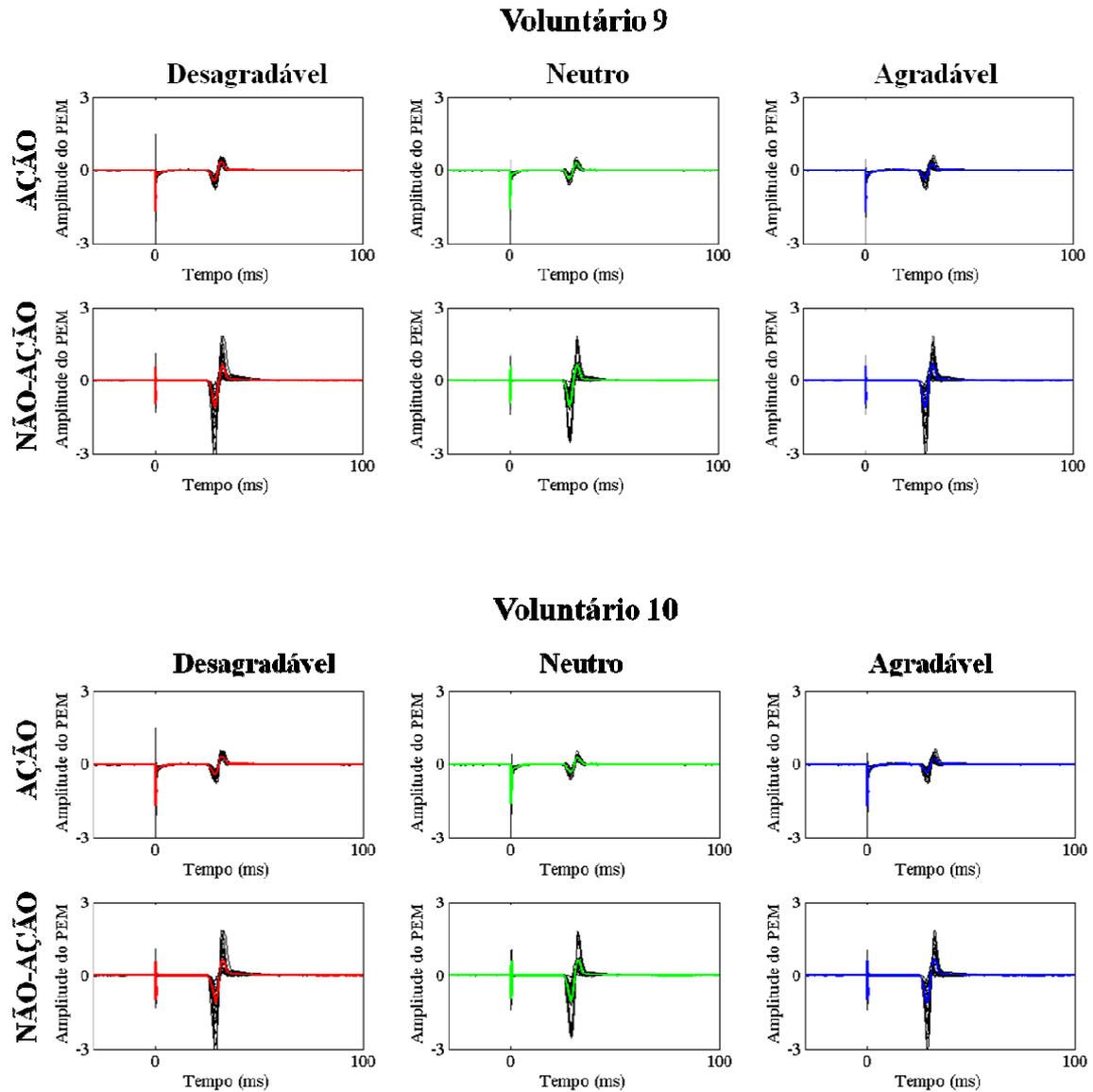
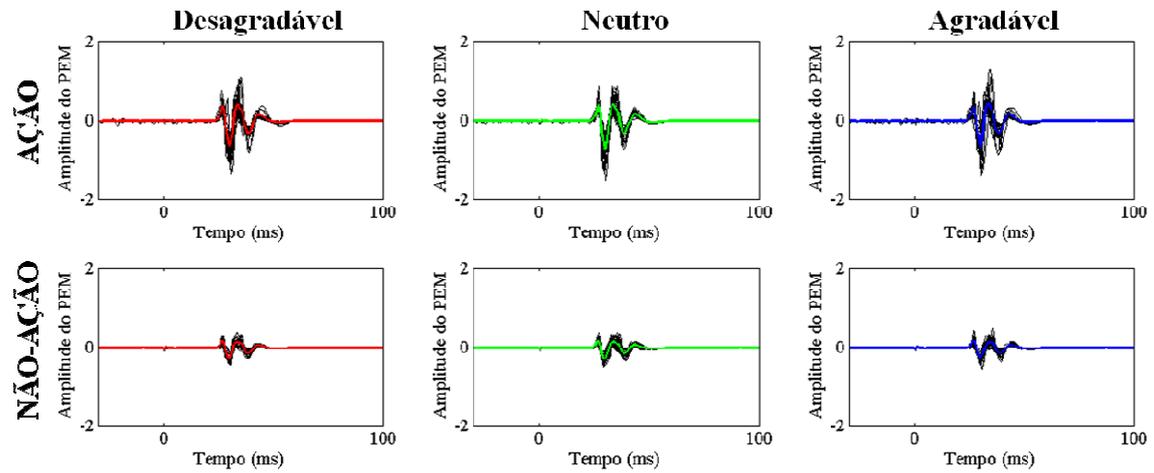


Figura 23: Representação dos potenciais evocados motores (PEMs) registrados do músculo primeiro interósseo dorsal (PID) por participante. Para os participantes 1, 2, 3 e 4, o registro do sinal eletromiográfico foi realizado com um filtro passa-banda de 100 a 500 Hz; para os demais participantes o filtro passa-banda foi mantido de 10 Hz a 5 kHz. Para todas as ilustrações a média dos PEMs durante a categoria desagradável em vermelho, neutra em verde e agradável em azul. O ponto 0 refere-se ao artefato gerado pela aplicação do pulso.

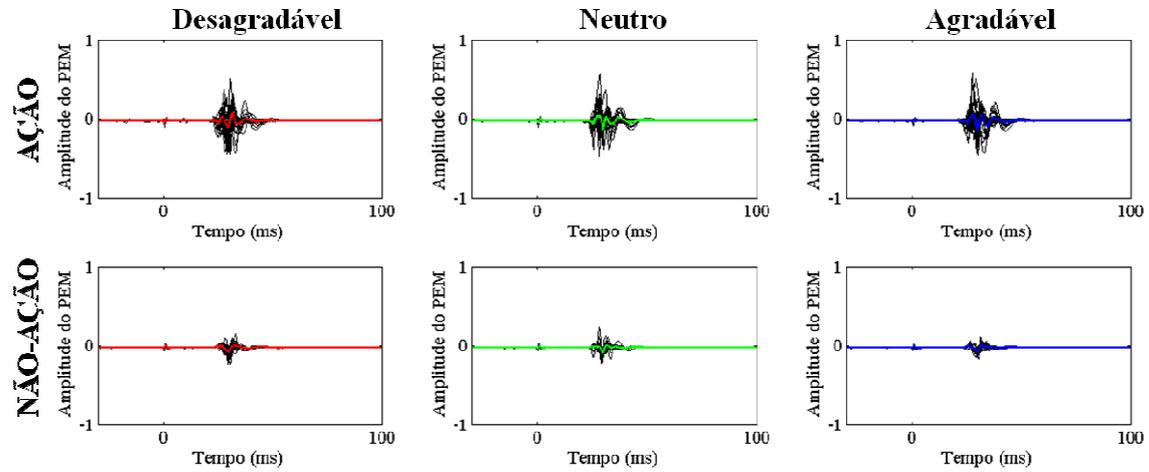
ANEXO XI

Representação dos PEMs do músculo abductor do dedo mínimo por condição e valência

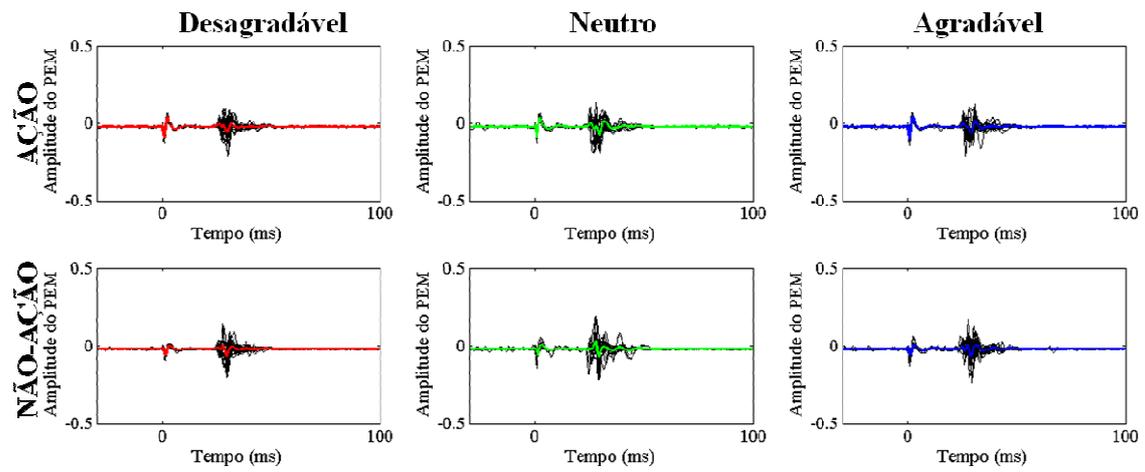
Voluntário 1



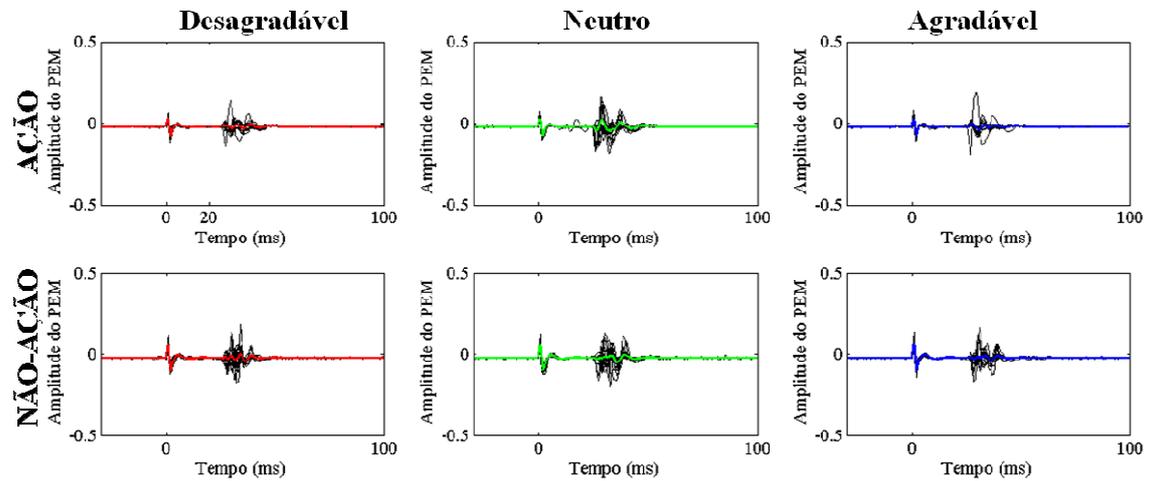
Voluntário 2



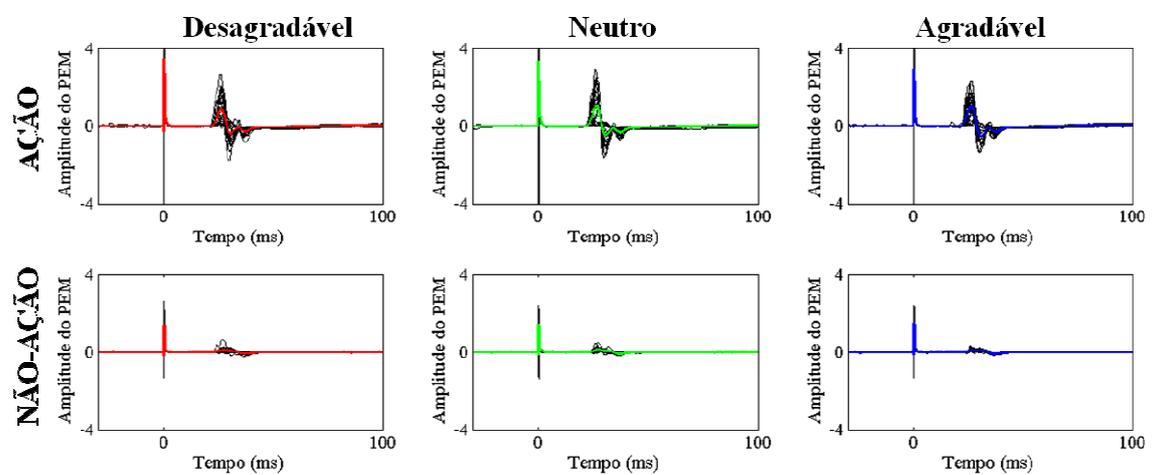
Voluntário 3



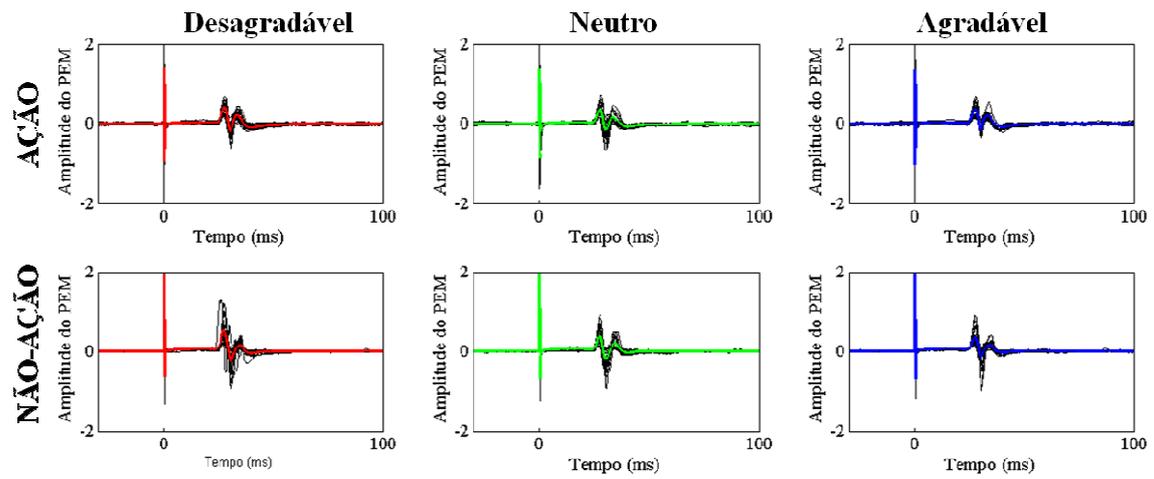
Voluntário 4



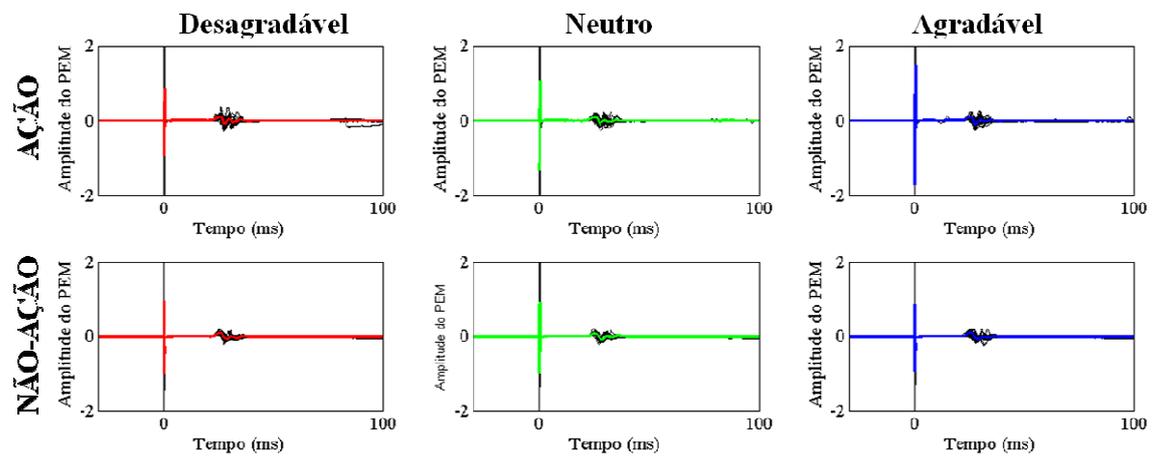
Voluntário 5



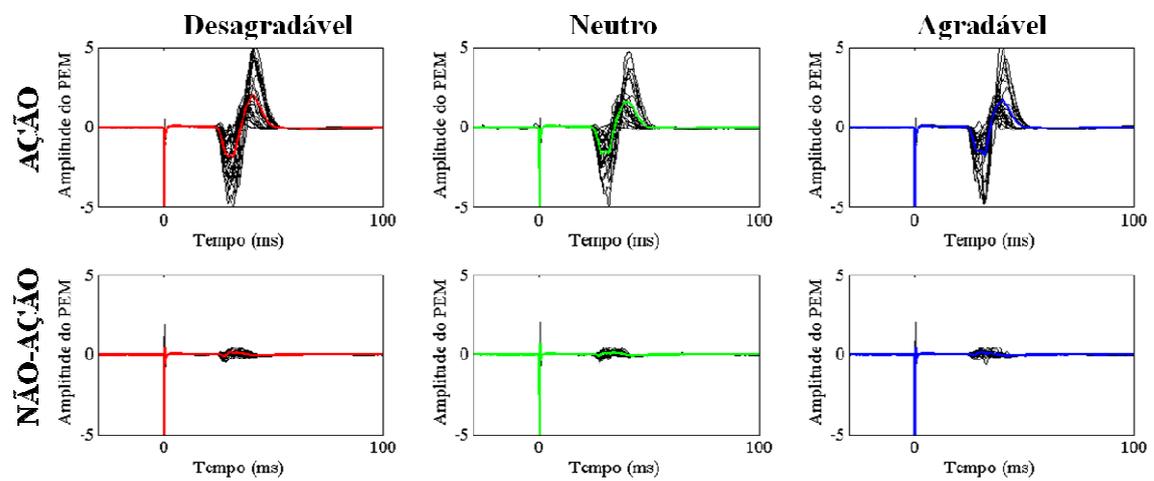
Voluntário 6



Voluntário 7



Voluntário 8



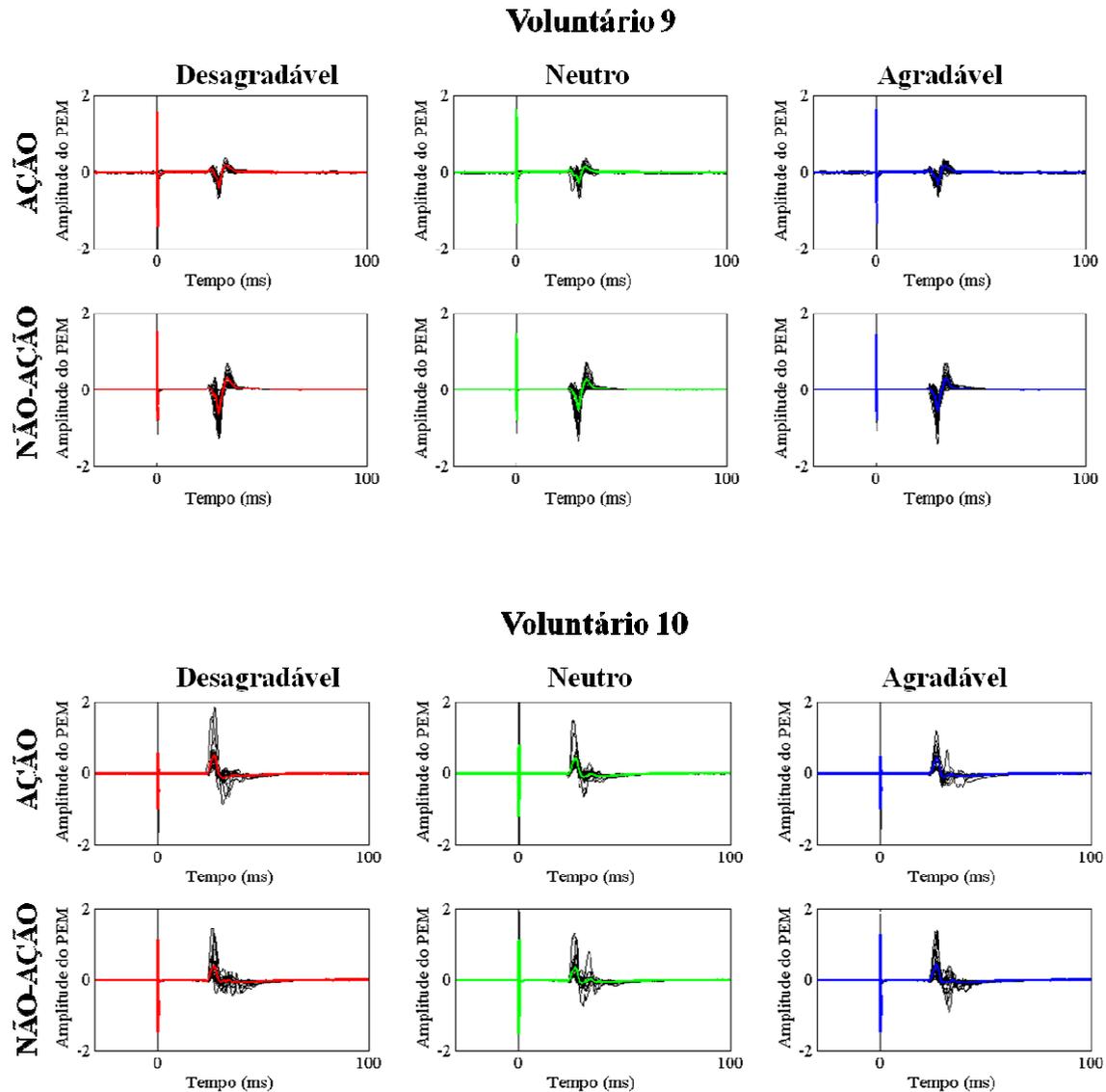


Figura 24: Representação dos potenciais evocados motores (PEMs) registrados do músculo abductor do dedo mínimo (ADM) por participante. Para os participantes 1, 2, 3 e 4, o registro do sinal eletromiográfico foi realizado com um filtro passa-banda de 100 a 500 Hz; para os demais participantes o filtro passa-banda foi mantido de 10 Hz a 5 kHz. Para todas as ilustrações a média dos PEMs durante a categoria desagradável em vermelho, neutra em verde e agradável em azul. O ponto 0 refere-se ao artefato gerado pela aplicação do pulso.