

Eduardo Macedo Penna

**EFEITO DA FADIGA MENTAL, DA ESTIMULAÇÃO CEREBRAL E DA ASSOCIAÇÃO DE AMBAS NO DESEMPENHO FÍSICO E EM VARIÁVEIS PSICOFISIOLÓGICAS DURANTE ATIVIDADES AERÓBIAS PROLONGADAS**

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional - UFMG

2019

Eduardo Macedo Penna

**EFEITO DA FADIGA MENTAL, DA ESTIMULAÇÃO CEREBRAL E DA ASSOCIAÇÃO DE AMBOS NO DESEMPENHO FÍSICO E EM VARIÁVEIS PSICOFISIOLÓGICAS DURANTE ATIVIDADES AERÓBIAS PROLONGADAS**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Ciências do Esporte da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências do Esporte.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Sales Prado

Coorientador: Prof. Dr. Edson Filho

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional - UFMG

2019

A Tese intitulada “Efeito da fadiga mental, da estimulação cerebral e da associação de ambos no desempenho físico e em variáveis psicofisiológicas em atividades aeróbicas prolongadas.”, de autoria do doutorando **Eduardo Macedo Penna**, defendida em 26 de junho de 2019, na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, foi submetida à banca examinadora composta pelos professores:



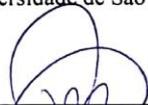
Prof. Dr. Luciano Sales Prado (orientador)  
 Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional  
 Universidade Federal de Minas Gerais



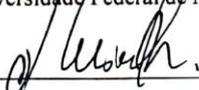
Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage  
 Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional  
 Universidade Federal de Minas Gerais



Prof. Dr. Flávio de Oliveira Pires  
 Universidade de São Paulo



Prof. Dr. Franco Noce  
 Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional  
 Universidade Federal de Minas Gerais



Prof. Dr. Eduardo Caldas Costa  
 Universidade Federal do Rio Grande do Norte

\*Como o Prof. Dr. Eduardo Caldas Costa participou da Banca à distância, o Prof. Dr. Luciano Sales Prado, presidente da comissão, assinará a ata em nome do mesmo e terá validade de 60 dias. Procedimento aprovado pelo colegiado de Pós-Graduação em Ciências do Esporte.

Belo Horizonte, 26 de junho de 2019.

à minha família.

## AGRADECIMENTOS

À população brasileira, que financia minha formação acadêmica desde a graduação. Espero corresponder à altura todo o investimento financeiro feito em mim. Também agradeço a Universidade Federal do Pará que me deu a MELHOR condição existente para a realização do doutorado, e aos funcionários da EEEFTO pelo convívio cotidiano tão agradável.

À minha mãe, por ser sempre o exemplo de professor que eu pretendo me tornar um dia. Pelo amor incondicional e por entender a minha ausência cotidiana. No fim de tudo, dar orgulho para você foi sempre a minha **maior** motivação.

Ao meu pai, por me mostrar que o amor é incondicional. Por ser exemplo de trabalho e dedicação e por sempre me incentivar quando tudo parecia não fazer sentido.

Aos meus irmãos Rodrigo e Letícia, por serem meu porto seguro quando nosso mundo virou de ponta cabeça. Me faltam palavras para agradecer a presença, o apoio, o amor e a amizade de vocês na minha vida. Agradeço também aos cunhados Fernando e Camila por agregarem mais alegria a nossa família, e pelos sobrinhos maravilhosos (carol, gabi e guga)!

Aos meus tios, tias, primos, primas avôs e avós, por sempre me lembrarem do real significado da palavra FAMÍLIA.

À Paulinha, minha futura esposa, por todo amor e companheirismo em que vivemos há tanto tempo. Obrigado por aguentar meu mau-humor quando as coisas não dão certo, por ser sempre a pessoa que tira os meus melhores sorrisos, meus melhores abraços e sempre tirar o melhor de mim! Obrigado por estar incondicionalmente ao meu lado para tudo. Te amo!

Ao Luciano, que me recebeu como aluno sem me conhecer direito e por acreditar no tema desde o primeiro contato. Agradeço a amizade que construímos (passamos por muita coisa durante esse período!). Obrigado por me mostrar que é possível conduzir um processo estressante de uma forma tão

humana. Seu lema de que “os artigos passarão, mas os bons momentos, as reuniões no Vegas ou na varanda são as coisas que ficam no final” ficará guardado! Te agradeço não por me tornar um pesquisador melhor ou um professor melhor, mas por me tornar, acima de qualquer coisa, uma pessoa melhor. Isso não tem preço ou publicação que pague! Muito obrigado!

Ao Edson Filho, meu Coorientador, que desde o PRIMEIRO contato (antes do ingresso no doutorado) se mostrou empolgado em ajudar. Para mim, você sempre foi uma inspiração acadêmica desde quando eu era IC e você um aluno de mestrado! Obrigado por me receber tão bem no período que passei em Preston, que definitivamente foi de grande importância para a minha formação (discutir o mundo acadêmico com você é sempre fascinante, seja no laboratório ou no *Soul Food* comendo um burrito). Você sempre será uma das minhas referências acadêmicas.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Eduardo Caldas, Prof. Flavio Pires, Prof. Franco Noce e Prof. Guilherme Lage, por dedicarem à minha tese um dos recursos mais escassos atualmente: o tempo. Vocês foram escolhidos para compor essa banca devido à admiração que tenho às pessoas e ao trabalho de vocês.

Aos professores do PPGCE, principalmente à professora Danusa Dias Soares, com quem tive o privilégio de conviver e acima de tudo aprender, diariamente, no LAFISE. O carinho materno com que você trata a todos os alunos do laboratório é um suporte muito importante para todos nós.

Aos grandes amigos do LAFISE: Bruno goiaba, Bruno Melo, João calota, Rubão, Alexandre comuna, Pedro Careca, Pedro DMVL, Alinex, Nicolas, Carlão, Joyce, Patrícia, Quinan, Camilo, Gabi e Shang, por fazerem desse laboratório não apenas um lugar de excelência acadêmica, mas acima de tudo um **ótimo** lugar para o convívio diário e um ambiente de trabalho maravilhoso. Agradeço também a Ju Parma, pela amizade dentro e fora da UFMG e por ajudar nas coletas e em tudo relacionado ao ETCC.

Aos amigos Renato (monstro) e Mário (jaca), que desde a iniciação científica me apoiam nessa jornada. A amizade de vocês, mesmo que à distância, é muito importante para mim.

Aos grandes amigos Bob e Gui, presentes em resenhas nacionais e internacionais, por serem tão presentes e torcerem tanto por mim.

Aos amigos da pelada de 7h60min, por me aguentarem e por fazerem da segunda à noite um dos melhores momentos da semana. Em especial ao vovô Bazzoni e ao Diego que cuidam de tudo para que a pelada dê tão certo.

Aos amigos do NSSC, por estarem sempre presente nos bons e nos maus momentos. Obrigado por existirem na minha vida. Sou eternamente grato a cada um de vocês pela amizade!

Ao Dr. Samuel Wanner, que para mim vai ser sempre Samu. Obrigado por ser primo, amigo, irmão, orientador, revisor, comprador de ingresso para jogo do galo, etc.etc.etc... tudo isso em uma pessoa só. Você sempre será minha maior referência dentro da profissão.

Aos grandes amigos (e futuros vizinhos) da UFPA: Daniel Pires e Victor Coswig pela amizade e pelas excelentes prosas durante minhas idas à castanhal. Aos compadres Josafá e Etiene pela amizade desde o meu primeiro dia em castanhal, e por sempre me abrigarem por aí! Espero poder retribuir um dia!

Aos voluntários dos estudos, pessoas que sem as quais não seria possível a realização dos trabalhos. Obrigado pela paciência e por dedicarem seus valiosos tempos ao meu projeto.

A todos que não tiveram seu nome citado aqui, mas que direta ou indiretamente participaram de alguma forma na minha vida ao longo dos últimos 4 anos, meu muito obrigado!

*“No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz”*

*(Ayrton Senna)*

## RESUMO

A fadiga mental é um estado psicobiológico caracterizado pela queda do desempenho cognitivo, e pode ser provocada por períodos prolongados de tarefas que envolvam uma elevada demanda cognitiva. Tem sido demonstrado que ela também é capaz de alterar o desempenho físico, principalmente por meio da alteração em variáveis perceptivas ligadas ao desempenho humano. Para neutralizar o possível efeito deletério da fadiga mental no desempenho físico, diversas intervenções são apontadas, que podem ser crônicas ou agudas. Dentre elas, destaca-se a estimulação cerebral que é capaz de reduzir variáveis perceptivas ao longo de uma tarefa física ou cognitiva prolongada. A presente tese teve como objetivo estabelecer relações entre a estimulação cerebral, por meio da estimulação transcraniana por corrente contínua, e a fadiga mental. Em uma série de 3 artigos, atletas e indivíduos destreinados foram expostos a um protocolo de fadiga mental (estudos 1, 2 e 3) e a estimulação cerebral em diferentes áreas (estudos 2 e 3) com o objetivo de testar se a fadiga mental afeta o desempenho nessas diferentes populações, se a estimulação cerebral de diferentes áreas é capaz de anular o possível efeito deletério provocado pela fadiga mental, e se a estimulação cerebral em diferentes áreas é capaz de melhorar o desempenho nessas populações. No estudo 1 foi identificado que a fadiga mental foi capaz de reduzir o desempenho em jovens atletas de natação. No estudo 2, o mesmo efeito não foi observado em atletas masters, e não foi identificada influência positiva na estimulação cerebral do Córtex Temporal no desempenho físico. Contudo, após uma abordagem qualitativa, os atletas reportaram uma maior dificuldade em se manterem concentrados ao longo da prova quando mentalmente fadigados, o que repercutiu em outras variáveis psicológicas e comportamentais, e que provavelmente a capacidade de se auto motivar ao longo da prova impediu a observação da queda do desempenho. No estudo 3, a fadiga mental também não foi capaz de alterar o desempenho de indivíduos destreinados e a estimulação cerebral tanto do córtex pré-frontal, quanto do córtex motor primário não foi eficiente em melhorar o desempenho tampouco melhorar as respostas perceptivas ao longo do desempenho. Discussões a respeito da especificidade da população mais vulnerável aos efeitos deletérios da fadiga mental, assim como quanto aos efeitos positivos da estimulação cerebral (em suas diferentes regiões corticais) foram desenvolvidas. Conclui-se que a fadiga mental é capaz de alterar o desempenho de populações específicas, e que provavelmente ela está relacionada com alterações perceptivas, principalmente relacionadas com a diminuição da capacidade de concentração ao longo da prova. De forma semelhante, a estimulação cerebral pode ser capaz de alterar o desempenho de populações específicas, e que essa alteração também parece estar ligada com a estimulação de áreas específicas do córtex cerebral.

**Palavras Chave:** Fadiga mental. ETCC. Natação. Ciclismo.

## ABSTRACT

Mental fatigue is a psychobiological state characterized by impairments in cognitive performance and can be triggered by prolonged periods of high cognitive demand tasks. It has been shown that MF is also capable of reducing physical performance, mainly through the change in perceptual variables linked to human performance. To counteract the possible deleterious effect of MF on physical performance, several interventions have been proposed, which may be chronic or acute. Among them, the cerebral stimulation, which is able to reduce perceptual variables during prolonged physical or cognitive task stands out. The aim of this thesis was to establish relations between brain stimulation, through transcranial direct current stimulation, and mental fatigue. In a series of 3 experiments, athletes and untrained individuals were exposed to a protocol of mental fatigue and brain stimulation in different areas with the objective of testing whether mental fatigue affects performance in these different populations, and if brain stimulation of different areas is capable of counteracts the deleterious effect caused by MF. Furthermore, whether brain stimulation in different areas is capable of improving performance in these populations. In study 1 it was identified that mental fatigue was able to reduce performance in young swimming athletes. In study 2, the same effect was not observed in master's athletes, and no positive effect on Temporal Cortex cerebral stimulation in physical performance was identified. However, after a qualitative approach, athletes reported a higher difficulty in staying focused during the test when mentally fatigued, which had repercussions on other psychological and behavioral variables, and that the ability to self-motivate throughout the swimming performance was important to maintain the performance level. In study 3, MF was also unable to alter the performance of untrained individuals, and brain stimulation of both the prefrontal cortex and the primary motor cortex was not effective in improving performance nor improving perceptual responses over performance. Discussions regarding the specificity of the population most vulnerable to the deleterious effects of MF, as well as the positive effects of brain stimulation (in their different cortical regions), were developed. It is concluded that mental fatigue is capable of altering the performance of specific populations and that it is probably related to perceptual alterations, mainly related to the decrease of the capacity of concentration throughout the test. Similarly, brain stimulation may be able to alter the performance of specific populations, and that this alteration also seems to be linked to the stimulation of specific areas of the cerebral cortex.

**Keywords:** Mental fatigue. TDCS. Swimming. Cycling.

## LISTA DE FIGURAS E TABELAS

### Estudo 1

Figura 1.....	34
Figura 2.....	35
Figura 3.....	36
Tabela 1 - Parâmetros de variabilidade da frequência cardíaca calculados antes e após os 1.500 m - natação nas duas condições experimentais (fadiga mental e controle).....	37

### Estudo 2

Figura 1.....	48
Figura 2.....	53
Figura 3.....	54
Figura 4.....	55
Figura 5.....	56

### Estudo 3

Figura 1.....	79
Figura 2.....	84
Figura 3.....	85
Figura 4.....	86
Figura 5.....	87
Figura 6.....	88
Figura 7.....	89
Figura 8.....	90
Figura 9.....	90
Figura 10.....	91
Figura 11.....	92

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

FM	Fadiga Mental
PSE	Percepção Subjetiva do Esforço
ETCC	Estimulação transcraniana por corrente contínua
M1	Córtex motor primário
PFC	Córtex pré-frontal
VFC	Variabilidade da frequência cardíaca
LF	Baixa Frequência
HF	Alta frequência
VLF	Muito baixa frequência
EVA	Escala visual análoga
PRE-TREAT	Pré tratamento
POST-TREAT	Pós tratamento
POST-SWIM	Pós natação
AU	Unidades arbitrárias
RMSSD	Raiz quadrada média das diferenças sucessivas entre os intervalos R-R adjacentes
ES	Tamanho do efeito
FM+EST	Fadiga mental com estimulação cerebral
FM+SHAM	Fadiga mental sem estimulação cerebral
CONT+EST	Sem fadiga mental com estimulação cerebral
CONT+SHAM	Sem fadiga mental sem estimulação cerebral
TCLE	Termo de consentimento livre e esclarecido
mA	Miliampères
UM	meaning unit
EEG	eletroencefalograma

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	18
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	20
2.1 Fadiga Mental.....	20
2.2 Estimulação transcraniana por Corrente Contínua (ETCC) .....	22
3. OBJETIVOS GERAIS DA TESE .....	25
3.1 Objetivo geral .....	25
3.2 Objetivos específicos.....	25
4. ORGANIZAÇÃO DA TESE .....	26
5. ESTUDO 1 - A fadiga mental prejudica o desempenho físico de jovens nadadores 27	
5.1 Resumo .....	27
5.2 Introdução.....	28
5.3 MÉTODOS.....	29
5.3.1 Amostra.....	29
5.3.2 Design Experimental.....	30
5.3.3 Tratamento .....	31
5.3.4 Medidas subjetivas.....	31
5.3.5 VFC.....	32
5.3.6 Medidas de Desempenho .....	32
5.3.7 Análise Estatística .....	33
5.4 RESULTADOS.....	33
5.4.1 Medidas Perceptivas.....	33
5.4.2 Desempenho físico.....	35
5.4.3 VFC.....	36
5.5 DISCUSSÃO.....	37
5.6 APLICAÇÕES PRÁTICAS.....	40
5.7 CONCLUSÃO.....	40
5.8 REFERÊNCIAS.....	41
6. ESTUDO 2- Efeito da fadiga mental, da estimulação cerebral do córtex temporal e da associação de ambos no desempenho físico aeróbio em atletas masters de natação: uma abordagem quali-quantitativa.....	44

6.1	Resumo .....	44
6.2	Introdução .....	45
6.3	Métodos.....	47
6.3.1	<i>Amostra</i> .....	47
6.3.2	<i>Delineamento experimental</i> .....	47
6.3.3	<i>Instrumentos - Escala Visual Análoga – EVA</i> .....	48
6.3.4	<i>Protocolo de Indução de Fadiga Mental</i> .....	49
6.3.5	<i>Protocolo de Estimulação Cerebral</i> .....	49
6.3.6	<i>Medida de Desempenho Físico</i> .....	50
6.3.7	<i>Percepção Subjetiva do Esforço</i> .....	50
6.3.8	<i>Entrevista semiestruturada</i> .....	50
6.3.9	<i>Análise Estatística</i> .....	51
6.3.10	<i>Análise dos dados qualitativos</i> .....	51
6.4	Resultados .....	52
6.4.1	<i>Protocolo de indução do estado de fadiga mental</i> .....	52
6.4.2	<i>Medidas de desempenho físico</i> .....	54
6.4.3	<i>Análise qualitativa das entrevistas</i> .....	55
6.5	Discussão.....	60
6.5.1	<i>Dados Quantitativos – Fadiga Mental</i> .....	60
6.5.2	<i>Dados Quantitativos – Estimulação Cerebral</i> .....	63
6.5.3	<i>Dados Qualitativos – Fadiga Mental</i> .....	64
6.6	Conclusão .....	67
6.7	Referências.....	67
7.	ESTUDO 3- Efeito da fadiga mental e da estimulação em diferentes áreas cerebrais sobre o desempenho físico e medidas psicofisiológicas de indivíduos não treinados. ....	73
7.1	Resumo .....	73
7.2	Introdução .....	74
7.3	Método.....	77
7.3.1	<i>Amostra</i> .....	77
7.3.2	<i>Delineamentos experimentais</i> .....	77
7.3.3	<i>Instrumentos - Protocolo de Indução de Fadiga Mental</i> .....	79

7.3.4 Controle o Estado induzido de Fadiga Mental - Escala Visual Análoga – EVA .....	80
7.3.5 Desempenho ao Longo do Stroop Color Test .....	80
7.3.6 Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) .....	80
7.3.7 Protocolo de Estimulação Cerebral .....	81
7.3.8 Medidas de Desempenho Físico.....	82
7.3.9 Medidas Perceptivas ao longo do Exercício - Percepção Subjetiva do Esforço .....	82
7.3.10 Escala afetiva.....	82
7.3.11 Foco de atenção.....	82
7.3.12 Análise Estatística .....	82
7.4 Resultados – Delineamento Experimental 1 (Córtex pré-frontal).....	83
7.4.1 Controle da Indução de Fadiga Mental - PFC .....	83
7.4.2 Desempenho físico - PFC.....	85
7.4.3 Medidas Perceptivas ao longo do exercício- PFC .....	87
7.4.4 Controle da Indução de Fadiga Mental – M1 .....	88
7.4.5 Resultados – Desempenho físico – M1 .....	90
7.4.6 Medidas Perceptivas ao longo do exercício – M1.....	91
7.5 Discussão Geral.....	92
7.5.1 Controle da indução de Fadiga Mental .....	93
7.5.2 Desempenho Físico .....	94
7.5.3 Medidas perceptivas ao longo do exercício .....	96
7.6 Conclusão .....	98
7.7 Referências.....	98
8. DISCUSSÃO GERAL DA TESE .....	104
8.1 Fadiga Mental e Desempenho Físico .....	104
8.2 Efeito da ETCC no desempenho físico aeróbio.....	106
8.3 Efeito da ETCC nas medidas perceptivas ao longo do exercício .....	108
9. CONCLUSÃO GERAL DA TESE .....	110
REFERÊNCIAS .....	111
ANEXOS .....	116
APÊNDICE – Atividades acadêmicas desenvolvidas durante o doutorado.....	118



## 1 INTRODUÇÃO

A fadiga dentro do contexto do esporte e das atividades físicas em geral tem sido investigada há um longo período, e diversas abordagens para a sua compreensão têm sido propostas. De uma forma ampla, podemos conceituar a fadiga como uma sensação de cansaço ao longo do exercício associada a uma queda do desempenho e da função muscular (ABBISS; LAURSEN, 2005). Portanto, do ponto de vista fisiológico, diferentes grupos de pesquisadores têm buscado informações a respeito das alterações que podem influenciar uma determinada pessoa a terminar (ou prosseguir) em uma atividade física qualquer (ABBISS; LAURSEN, 2005; TUCKER; NOAKES, 2009). Dentro dessa abordagem fisiológica, as diferentes formas de manifestação da fadiga têm sido diferenciadas, como por exemplo a separação entre fadiga periférica, relacionadas às alterações musculares e metabólicas associadas ao exercício (KIRKENDALL, 1990), e também a chamada fadiga central, relacionada à diminuição da capacidade do sistema nervoso central em recrutar de maneira adequada a musculatura ativa (MEEUSEN; ROELANDS, 2018).

Apesar dessa separação ser comumente aceita, abordagens mais integrativas relacionadas ao estudo do desempenho humano tem apontado o papel que variáveis psicológicas apresentam no desenvolvimento da fadiga ao longo de um determinado exercício. Conforme apresentado por McCormick, Meijen e Marcora, (2015) diferentes estratégias psicológicas, como o *self-talk*, o estabelecimento de metas, o direcionamento do foco de atenção, dentre outros, são capazes de alterar o desempenho humano e retardar o desenvolvimento da fadiga (compreendida como a redução do desempenho), desafiando assim a proposição comum de que apenas os fatores fisiológicos, sejam eles centrais ou periféricos, são determinantes para as diferentes manifestações do desempenho humano. Portanto, métodos multidisciplinares, que envolvam variáveis fisiológicas associadas às variáveis psicológicas podem ser particularmente eficientes na compreensão mais abrangente dos efeitos da fadiga no contexto do esporte e das atividades físicas em geral.

A partir dessa visão mais integrada dos diferentes fatores que podem influenciar os diferentes domínios do desempenho humano, tem sido investigado não apenas o efeito que o exercício físico apresenta em variáveis psicológicas (SMITH *et al.*, 2010; TOMPOROWSKI, 2003), mas de maneira inversa, o efeito de fatores psicológicos podem apresentar no desempenho humano, e particularmente o efeito que o estresse mental pode ter no desempenho físico humano (CUTSEM *et al.*, 2017; MCMORRIS *et al.*, 2018). Logo, dentro do contexto do esporte e da atividade física, estudos envolvendo a fadiga mental (também chamado de fadiga cognitiva) tem fornecido evidências a respeito dessa complexa interação entre os mecanismos psicofisiológicos que estão envolvidos nas diversas formas de manifestação do desempenho físico humano, assim como em variáveis perceptivas que estão associadas a ele. Esses fatores psicológicos relacionados à melhoria do desempenho físico também são relevantes em se tratando não apenas em atletas, mas na população em geral, já que percepção de competência em uma determinada atividade está diretamente associada à uma maior aderência na prática dessa atividade, ou seja, é relevante em se tratando da manutenção de um estilo de vida mais ativo (BARNETT *et al.*, 2008; PAPAIOANNOU *et al.*, 2007).

Além da relação entre os fatores fisiológicos e psicológicos que ocorrem ao longo do exercício físico, recursos ergogênicos agudos podem ter um impacto positivo tanto nas variáveis fisiológicas quanto em variáveis psicológicas, que de forma geral podem refletir a melhoria do desempenho. Estratégias como a suplementação aguda com cafeína (GLAISTER; GISSANE, 2018), suco de beterraba rico em nitrato (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2017), beta alanina (BLANCQUAERT; EVERAERT; DERAIVE, 2015) e diversos outros têm impactos significativos em diferentes mecanismos fisiológicos relacionados ao desempenho. Contudo, o impacto que estratégias agudas ergogênicas podem ter em variáveis psicológicas, e de que forma elas também podem influenciar o desempenho físico ao longo do exercício ainda carecem de maiores informações.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 *Fadiga Mental*

A fadiga mental (FM) pode ser conceituada como um estado psicobiológico causado por prolongados períodos de elevada demanda cognitiva (CUTSEM *et al.*, 2017). Apesar de novos conceitos e caracterizações terem surgido recentemente, os estudos envolvendo o efeito de elevada demanda cognitiva em diferentes domínios do desempenho humano é bastante antiga, com trabalhos que datam do final do século XIX (THORNDIKE, 1899). Esse estado, que tem como características percepções elevadas de cansaço mental, é relativamente comum no cotidiano das pessoas, principalmente relacionado às atividades laborais (ÅKERSTEDT *et al.*, 2004). Contudo, principalmente na última década, a relação entre estados elevados de FM e os diferentes componentes do desempenho físico tem sido alvo de preocupação por parte da ciência do esporte.

Essa preocupação dentro do contexto esportivo se dá devido ao fato de que a FM pode influenciar diferentes componentes relacionados ao desempenho humano: perceptivos, comportamentais ou fisiológicos. Subjetivamente, ela pode se manifestar por meio de sentimentos aumentados de cansaço e falta de energia (BOKSEM; TOPS, 2008) ou diminuição na motivação e alerta (BOKSEM; MEIJMAN; LORIST, 2006). Com relação às alterações comportamentais fadiga mental pode induzir a um declínio no desempenho motor (maior número de erros ou aumento tempo de reação em uma determinada tarefa por exemplo) (MÖCKEL; BESTE; WASCHER, 2015) , e fisiologicamente, a FM parece induzir alterações na atividade cerebral (PIRES *et al.*, 2018) e também em aspectos ligados ao controle autonômico do sistema cardiovascular (MOREIRA *et al.*, 2018).

Por mais que as consequências da FM sejam conhecidas, os mecanismos envolvidos na redução dos diferentes componentes do desempenho humano ainda carecem de maiores informações. Tem sido proposto que tarefas de elevada demanda cognitiva, realizada por um período prolongado estejam

associados a um aumento na concentração de adenosina extracelular no cérebro. Esse acúmulo de adenosina impactaria o desempenho de duas formas: 1) aumentando a percepção do esforço ao longo da execução de tarefas subsequentes a esse esforço cognitivo e 2) diminuindo aspectos motivacionais, principalmente reduzindo a volição em exercer um esforço maior durante a tarefa, provavelmente interagindo com o sistema dopaminérgico em áreas como o córtex cingulado anterior (MARTIN *et al.*, 2018).

Apesar desse modelo teórico ainda carecer de confirmação experimental, de fato, o principal efeito da FM no desempenho físico, e particularmente no desempenho aeróbio prolongado, se dá por meio de alterações perceptivas ao longo do exercício físico (MARCORA; STAIANO; MANNING, 2009). Uma maior percepção subjetiva do esforço (PSE) em condições induzidas de fadiga mental é comumente observada quando comparadas situações idênticas de exercício físico (MACMAHON *et al.*, 2014) e nenhuma alteração fisiológica é observada entre essas situações (MARCORA; STAIANO; MANNING, 2009; PENNA *et al.*, 2018). Logo, o impacto negativo que a FM tem no desempenho físico aeróbio passa pela interação da maneira com que o executante percebe a intensidade do exercício e a quantidade de esforço que ele deseja empenhar na tarefa. Além do desempenho físico aeróbio, a FM é capaz de reduzir o desempenho técnico (MOREIRA *et al.*, 2018) tático (COUTINHO *et al.*, 2017), e parece não influenciar tarefas de força (ROZAND *et al.*, 2014) e de curta duração e elevada intensidade (MARTIN *et al.*, 2015).

Portanto, conforme demonstrado, a FM é um estado psicobiológico que apesar de comumente observado, é capaz de reduzir diferentes componentes relacionados ao desempenho esportivo, e, portanto, identificar estratégias capazes de atenuar ou reverter a influência deletéria da FM na prática esportiva se faz importante. De forma aguda, a única estratégia identificada capaz de reverter o efeito prejudicial da FM é a ingestão de cafeína. Essa é uma estratégia interessante, já que estudos tem identificado que a cafeína é uma substância ergogênica e capaz de reduzir a PSE, ou seja, atua na principal causa da redução do desempenho aeróbico sob condição de FM (FRANCO-ALVARENGA *et al.*, 2019). Portanto, novas estratégias ergogênicas

para atenuação (ou reversão) dos efeitos ergolíticos da FM ainda não foram identificadas.

#### **a. Estimulação transcraniana por Corrente Contínua (ETCC)**

Dentre os diversos recursos ergogênicos que tem surgido dentro do contexto esportivo, a estimulação cerebral por meio da ETCC tem sido apontada como uma ferramenta promissora no que diz respeito a melhoria aguda do desempenho de diferentes componentes da força muscular e em tarefas predominantemente aeróbias (ALIX-FAGES *et al.*, 2019). Essa ferramenta caracteriza-se pela aplicação de uma fraca corrente elétrica sobre o couro cabeludo que é capaz de modular a excitabilidade de áreas corticais (NITSCHKE; PAULUS, 2000). Tem sido demonstrado que estímulos de cerca de 10 minutos são capazes de alterar a excitabilidade cortical por até 90 minutos após a cessão do estímulo (NITSCHKE *et al.*, 2003), sendo essa alteração específica relacionada à polaridade utilizada, já que a estimulação anódica aumentaria a excitabilidade enquanto a estimulação catódica produz o efeito contrário (NITSCHKE; PAULUS, 2000).

Após o uso dessa técnica de neuromodulação ter se desenvolvido em áreas de estudo envolvendo temáticas como aprendizagem e memória (COFFMAN; CLARK; PARASURAMAN, 2014; FREGNI *et al.*, 2005), estudos recentes tem investigado o possível efeito ergogênico dessa técnica também em diferentes componentes do desempenho físico, principalmente em atividades que envolvam as manifestações da força muscular e também o desempenho aeróbico (MACHADO *et al.*, 2019). Apesar dos resultados serem de certa forma conflitantes, já que diversos fatores pessoais (nível de treinamento, eficiência neural etc.) e ambientais (tempo de estimulação, área cortical estimulada, temporalidade da estimulação etc.) podem influenciar a eficiência dessa técnica no contexto do desempenho físico humano (ANGIUS, LUCA; PASCUAL-LEONE; SANTARNECCHI, 2018; EDWARDS *et al.*, 2017) essa técnica tem sido considerada como o futuro do doping (REARDON, 2016), já que não

existe uma forma de assegurar se um atleta usou ou não a estimulação cerebral antes de uma competição visando a melhoria do rendimento.

Por mais que os mecanismos pelos quais a ETCC possa ser capaz de melhorar o desempenho físico não estejam totalmente elucidados, assim como todos os fatores limitantes (pessoais e ambientais) que influenciam o resultado dessa técnica, algumas respostas, como aspectos perceptivos melhorados após a aplicação dessa técnica parecem ser mais reprodutíveis, particularmente na população de atletas. Estudos envolvendo tanto exercícios aeróbicos quanto exercícios de força muscular relatam queda da PSE e de aspectos relativos ao humor após a estimulação cerebral (OKANO *et al.*, 2015; VALENZUELA *et al.*, 2018). Além disso, a maior parte dos estudos concentra a montagem da ETCC no córtex motor primário (M1) (MACHADO *et al.*, 2019), ignorando o papel que outras áreas corticais podem apresentar tanto em aspectos perceptivos quanto no próprio desempenho físico.

O M1 tem sido utilizado preferencialmente nos estudos envolvendo a ETCC principalmente pelas funções desempenhadas por esse substrato neural. Sugere-se que o M1 desempenhe um papel na geração e no controle de tarefas motoras e que a atividade dentro dessa área seja intensificada a fim de manter a tarefa quando a intensidade do exercício é aumentada (BRÜMMER *et al.*, 2011). Portanto, a alteração da excitabilidade dessa área, direcionada a uma facilitação do *output* neural para a musculatura ativa poderia ser capaz tanto de melhorar o desempenho por meio da redução da fadiga central (ANGIUS, *et al.*, 2016), ou por meio da melhoria perceptiva ao longo do exercício (redução da percepção de esforço que o indivíduo realiza em uma determinada intensidade de exercício) (LATTARI *et al.*, 2017)

Contudo, recentemente tem sido discutido o papel que o córtex pré-frontal (PFC) desempenha na modulação do desempenho próximo à exaustão. Por exemplo, foi demonstrado uma diminuição do nível de atividade (oxigenação)

do PFC antes do término do exercício, durante um teste incremental de ciclismo (THOMAS; STEPHANE, 2008). Portanto, parece que não apenas a questão relacionada à fadiga central (falha do sistema nervoso central em enviar estímulos à musculatura ativa, particularmente relacionada com M1) estaria relacionada com a regulação do exercício, mas também os processos superiores de planejamento e execução também podem estar envolvidos tanto no desempenho quanto em fatores perceptivos (BRÜMMER *et al.*, 2011).

### 3 OBJETIVOS GERAIS DA TESE

#### 3.1 *Objetivo geral*

Investigar o efeito da fadiga mental, da estimulação cerebral por meio da ETCC e da associação de ambos no desempenho físico e em variáveis psicofisiológicas ao longo de exercícios físicos aeróbios em diferentes populações.

Para isso, a tese foi dividida em três estudos de acordo com os objetivos específicos abaixo

#### 3.2 *Objetivos específicos*

##### Estudo 1

Objetivo específico 1 - Verificar o efeito da fadiga mental no desempenho físico e na variabilidade da frequência cardíaca em jovens atletas de natação.

##### Estudo 2

Objetivo específico 2 – Verificar o efeito da fadiga mental, da estimulação cerebral do córtex temporal, e da associação de ambos no desempenho físico e em variáveis perceptivas em atletas masters de natação.

##### Estudo 3

Objetivo específico 3 – Verificar o efeito da fadiga mental, da estimulação do córtex motor primário e do córtex pré-frontal, e da associação de ambos no desempenho físico e em variáveis psicofisiológicas em indivíduos não treinados.

#### 4 ORGANIZAÇÃO DA TESE

Cada estudo citado acima está apresentado a seguir em formato de artigo, de acordo com a formatação indicada por cada periódico pretendido, incluindo os respectivos resumos, introduções, métodos, resultados, discussões e referências bibliográficas. O título e o periódico para qual cada um dos artigos foi submetido estão descritos abaixo.

Estudo 1 – A fadiga mental prejudica o desempenho físico de jovens atletas de natação

*Artigo publicado no periódico “Pediatric Exercise Science”, v. 30, n.2, p. 208-215, may 2018. Doi: <https://doi.org/10.1123/pes.2017-0128>. (Qualis – A2; Fator de Impacto: 1.35)*

Estudo 2 – Efeito da fadiga mental, da estimulação cerebral do córtex temporal e da associação de ambos no desempenho físico e em medidas perceptivas em atletas masters de natação: uma abordagem quali-quantitativa.

*Artigo com a intenção de submissão no periódico: Journal of Sport & Exercise Psychology (Qualis – A1; Fator de Impacto: 2.41)*

Estudo 3 – Efeito da fadiga mental, da estimulação de diferentes áreas cerebrais e da associação de ambos no desempenho físico e respostas psicofisiológicas em indivíduos destreinados.

*Artigo com a intenção de submissão no periódico: PLoS One (Qualis – A1; Fator de Impacto: 2.76)*

## 5 ESTUDO 1 - A fadiga mental prejudica o desempenho físico de jovens nadadores

### 5.1 Resumo

**Objetivo:** Este estudo teve como objetivo investigar o impacto da fadiga mental na variabilidade da frequência cardíaca (VFC), medidas subjetivas de fadiga e desempenho físico aeróbio em jovens atletas de natação. **Método:** Dezesesseis nadadores ( $15,45 \pm 0,51$  anos de idade,  $7,35 \pm 2,20$  anos de experiência em natação) realizaram uma prova de 1500m em duas ocasiões separadas por um intervalo de pelo menos 72 horas. A prova de 1500m foi precedida por um tratamento de 30 minutos que consistiu na realização do teste Stroop Color para induzir fadiga mental (situação experimental), ou assistir a um vídeo emocionalmente neutro (situação de controle). **Resultados:** Os participantes relataram maiores percepções de fadiga mental e esforço mental após o Stroop test, em comparação à situação controle, mas não foram observadas diferenças na motivação entre as situações. A indução de fadiga mental prejudicou o desempenho na natação, como evidenciado por um desempenho mais lento (1,2%) para completar a prova de 1500m. Não foram identificadas diferenças entre as situações diferenças na PSE durante a prova de natação ou na VFC após o Stroop test e a natação. **Conclusão:** Os resultados sugerem que a indução da fadiga mental prejudica o desempenho na prova de 1500 m da natação em jovens atletas, sem alterar a VFC.

**Palavras-chave:** Fadiga Mental, Natação, Variabilidade da Frequência Cardíaca

### **a. Introdução**

A fadiga mental é conceituada como um estado psicobiológico induzido por períodos prolongados elevada demanda cognitiva e caracterizado por sentimentos de cansaço e falta de energia (6,19). Os efeitos adversos da fadiga mental sobre o desempenho cognitivo têm sido extensivamente relatados (33,17), no entanto, seus efeitos sobre o desempenho físico foram investigados apenas recentemente.

As evidências reunidas até o momento sugerem que a fadiga mental não prejudica as atividades de curta duração, caracterizadas por estratégias de all-out (20). No entanto, a fadiga mental tem mostrado afetar o desempenho atlético em atividades de maior duração, em que uma regulação contínua do esforço se faz necessária. Por exemplo, estudos anteriores mostraram o efeito deletério de um estado de fadiga mental na corrida de 5km (18,23) e no desempenho no ciclismo (8,19). Da mesma forma, foi relatado que um estado induzido de fadiga mental reduz o desempenho físico e técnico no futebol (27) e prejudica a precisão e a velocidade da tomada de decisão específica do futebol (29).

Os efeitos deletérios observados da fadiga mental no desempenho físico têm sido atribuídos principalmente a uma maior percepção de esforço em atletas mentalmente fatigados, como usualmente avaliado pela escala de Percepção Subjetiva do Esforço (PSE) (7). Tem sido sugerido que uma percepção aumentada de esforço poderia estar ligada a uma ativação aumentada do comando motor central (isto é, atividade cortical aumentada) e suas descargas corolárias inerentes (10). De fato, quando dois exercícios idênticos são comparados, os indivíduos submetidos a uma condição de fadiga mental (isto é, condição experimental) mostram uma maior percepção de esforço comparada a um controle, apesar da ausência de outras diferenças em diferentes medidas fisiológicas (por exemplo, frequência cardíaca, concentrações de lactato sanguíneo, consumo de oxigênio) (18,19,28).

Embora o desempenho físico prejudicado durante um estado mental de fadiga pareça ocorrer sem alterações concomitantes nos parâmetros fisiológicos, alguns estudos revelaram que a fadiga mental pode influenciar a regulação

autônômica da frequência cardíaca (21,30), avaliada de forma não invasiva pela variabilidade da frequência cardíaca. (VFC). A VFC pode ser definida como variação ao longo do tempo de batimentos cardíacos consecutivos e acredita-se que reflita a regulação do sistema nervoso autônomo da frequência cardíaca (1). Nos estados de fadiga mental, a regulação autônômica alterada é caracterizada por aumentos na razão de baixa a alta frequência (LF / HF), indicando que a fadiga mental aumenta a hiperatividade simpática e diminui a atividade parassimpática. No contexto esportivo, uma relação positiva foi identificada entre repouso, aumento da HF e melhor desempenho em nadadores (2,9), destacando a importância de se verificar possíveis mudanças na VFC em nadadores mentalmente fatigados.

Até o momento, no entanto, não foram identificados estudos que examinaram os efeitos da fadiga mental em nadadores, que são regularmente expostos a longas sessões de treinamento (24) depois, por exemplo, de atividades escolares (atividade cognitivamente exigente). Além disso, a avaliação de uma possível influência da fadiga mental na VFC pós-exercício é importante pois a hiperatividade simpática e a redução da atividade parassimpática podem levar a uma má recuperação após um estímulo de treinamento (4,22). Por sua vez, esse desequilíbrio entre estímulo e recuperação pode induzir a síndromes prejudiciais à saúde desses atletas, como por exemplo, as síndromes de *overtraining* e *burnout* (16).

Portanto, os objetivos do presente estudo foram: (a) examinar os efeitos de um estado induzido de fadiga mental em uma prova de natação de 1500 m, e (b) identificar possíveis alterações no controle autônomo da frequência cardíaca após uma tarefa prolongada de esforço mental. Nós hipotetizamos que a fadiga mental prejudicaria o desempenho da natação, enquanto os atletas perceberiam uma maior percepção de esforço associados à valores reduzidos da VFC.

### **5.3 MÉTODOS**

#### **5.3.1 Amostra**

Dezesseis nadadores (11 meninos e 5 meninas, com idade de  $15,45 \pm 0,51$  anos,  $7,35 \pm 2,2$  anos de experiência em natação) participaram do presente

estudo, que ocorreu de randomizada cruzada. Todos os participantes frequentavam a escola por pelo menos 5 horas por dia, competiam em campeonatos estaduais ou nacionais e treinavam uma média de 30.000 m por semana na época do presente estudo. Os participantes e seus pais assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido descrevendo os riscos potenciais e os procedimentos do estudo, que foram aprovados pelo Comitê de Ética da Universidade Federal de Minas Gerais (parecer número 55286716.0.0000.5149).

### *5.3.2 Design Experimental*

Todos os participantes foram instruídos a manter seus padrões regulares de sono e consumo habitual de cafeína (para evitar um efeito de confusão devido à abstinência). Eles também foram instruídos a evitar qualquer exercício vigoroso 24 horas antes das sessões experimentais, e fazer uma refeição rotineira 2 horas antes das duas sessões de testes. Todos os procedimentos de coleta de dados ocorreram no mesmo período do dia e foram adaptados ao cronograma de treinamento dos atletas. As sessões experimentais foram separadas por um intervalo de pelo menos 72 horas.

Após a chegada no local de coleta, os participantes receberam uma explicação padrão dos procedimentos, incluindo instruções para o uso da escala 6-20 da PSE (7), e foram instruídos a beber 500 mL de água. Os participantes foram direcionados para uma sala silenciosa onde completaram as escalas visuais analógicas (EVA) para a avaliação da fadiga mental (3,20), que foi seguida pelo tratamento controle ou tratamento de indução de fadiga mental. Imediatamente após o tratamento, a percepção de fadiga mental, de esforço mental e a motivação foram avaliados usando a EVA, e a frequência cardíaca foi registrada por 5 min. Os participantes foram então direcionados para a piscina para realizar a prova de natação de 1500 m. Após o nado, os participantes foram imediatamente conduzidos para uma sala isolada e silenciosa, onde permaneceram sentados por 10 minutos. A percepção de fadiga mental e esforço mental foram mensurados novamente e após os primeiros 5 minutos, sua frequência cardíaca foi registrada. Esses intervalos de tempo foram padronizados e rigorosamente controlados.

### *5.3.3 Tratamento*

A fadiga mental foi induzida por uma versão em papel do Stroop Color Test, durante 30 minutos. Esse teste tem sido utilizado em estudos recentes envolvendo fadiga mental em contextos esportivos (27,28). O teste exigiu que os participantes respondessem verbalmente à cor das palavras (vermelho, azul, verde e amarelo) impressas em ordem aleatória. A resposta correta correspondia à cor da tinta da palavra. Contudo, se a cor da tinta da palavra fosse vermelha, a resposta correta seria o significado da palavra, e não sua cor. As respostas verbais foram monitoradas por um membro da equipe de pesquisa e, a cada erro cometido, os participantes eram instruídos a reiniciar a linha atual de palavras. Os participantes foram instruídos a responder corretamente ao maior número de palavras possível por um período de 30 minutos.

A situação controle envolveu assistir a um vídeo, durante os mesmos 30 minutos, sobre a história da aviação mundial. Este vídeo foi identificado como emocionalmente neutro (sem alteração na frequência cardíaca, VFC ou humor) em um teste piloto.

### *5.3.4 Medidas subjetivas*

Como controle das manipulações, as classificações subjetivas de fadiga mental, esforço mental e motivação foram registradas usando uma EVA de 100 mm, ancorada pelas palavras “nada” e “máximo”; essa escala já foi utilizada em estudos de fadiga mental (27,28). As classificações de fadiga mental foram medidas no pré-tratamento (PRE-TREAT), pós-tratamento (PÓS-TREAT) e pós-natação (POST-SWIM). O esforço mental foi medido no POST-TREAT e no POST-SWIM. A motivação foi medida apenas no POST-TREAT e referida à prova de 1500 m subsequente. A EVA foi usada recentemente em estudos para medir avaliações subjetivas de fadiga mental, esforço mental e motivação no contexto esportivo e de exercício (19,20,29). Para analisar as três escalas, utilizou-se uma régua para medir a distância entre a marca inicial e o ponto marcado pelo participante. As pontuações foram relatadas como unidades arbitrárias (AU).

### 5.3.5 VFC

A VFC foi medida em dois momentos (POST-TREAT e POST-SWIM) nas duas situações experimentais. Para todas as medidas, os participantes permaneceram sentados por cinco minutos, com ritmo respiratório normal, em silêncio e sem movimentos corporais.

Para coletar os dados de frequência cardíaca, um cardiofrequencímetro (Polar® H7, Kempele, Finlândia) conectada a um relógio de gravação (Polar® V800) foi usado para gravar continuamente os intervalos R-R (31). Estes dados foram transferidos para um software (Polar ProTrainer) e exportados para análise posterior usando o software Kubios HRV versão 2.0, que foi desenvolvido pelo Grupo de Análise e Imagens Médicas em Biosignal do Departamento de Física Aplicada da Universidade de Kuopio, na Finlândia.

Os dados foram inspecionados visualmente para identificar batimentos e artefatos ectópicos (que não excederam 3% dos dados registrados) e aqueles identificados foram manualmente removidos e substituídos pela interpolação de seus respectivos intervalos R-R adjacentes.

Para identificar a VFC no domínio do tempo, foram analisados os intervalos R-R médios (média RR) e a raiz quadrada média das diferenças sucessivas entre os intervalos R-R adjacentes (RMSSD). Uma transformação rápida de Fourier dos sinais RR foi utilizada para análise da VFC no domínio da frequência. A resposta espectral fornecida pela análise foi dividida em três bandas: frequência muito baixa (VLF; 0,003 a 0,04 Hz), baixa frequência (LF; 0,04 - 0,15 Hz) e alta frequência (HF; 0,15 a 0,40 Hz).

### 5.3.6 Medidas de Desempenho

Os participantes foram instruídos a nadar 1500m o mais rápido possível. A coleta de dados foi realizada pelos mesmos dois pesquisadores. Um pesquisador era responsável por registrar o ritmo de cada volta de 50 m e o tempo decorrido até o término da prova, enquanto o outro pesquisador era responsável pelo registro da PSE a cada 300 m. A escala PSE foi impressa em uma faixa de 1 m x 0,9 m que foi colocada ao lado da piscina em um local

perfeitamente visível para os participantes (todas as tentativas ocorreram nas faixas 1 ou 8).

### *5.3.7 Análise Estatística*

Os dados foram inicialmente testados quanto à normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade (teste de Levene). Como todos os dados coletados foram aprovados nesses dois testes iniciais, os testes paramétricos foram realizados posteriormente. Um teste t de Student pareado foi realizado para comparar os dados médios (coletados em um único ponto) entre os ensaios experimentais. ANOVAs de duas vias com medidas repetidas foram usadas para comparar dados entre ensaios experimentais ao longo da distância para diferentes momentos (PRE-TREAT, POST-TREAT e POST-SWIM), seguidos do teste post hoc de Tukey, quando aplicável. Adicionalmente, o tamanho de efeito de Cohen (ES) foi calculado para avaliar a magnitude da diferença entre os ensaios experimentais. A ES foi calculada através de diferenças médias e foi considerada trivial (ES <0,2), pequena (ES 0,2 - 0,6), média (ES 0,6 - 1,2) e grande (ES ≥ 1,2) (13). Todos os resultados são apresentados como a média ± desvio padrão. O nível de significância foi estabelecido em  $p \leq 0,05$ . Todas as análises foram realizadas no pacote estatístico Sigma Plot 11.

## **5.4 RESULTADOS**

### *5.4.1 Medidas Perceptivas*

A percepção subjetiva da fadiga mental foi influenciada pelo momento de análise e condição experimental. De fato, uma ANOVA de dois fatores revelou uma interação significativa entre esses dois fatores ( $F = 9,06$ ;  $p < 0,001$ ; poder = 0,95). No PRE-TREAT, antes do teste de Stroop ou situação controle, não foram observadas diferenças ( $p = 0,94$ ; ES = 0,03). Como esperado, a percepção de fadiga mental aumentou após a aplicação do teste de Stroop ( $p < 0,001$ ; ES = 2,32), mas não alterou para o tratamento controle ( $p = 0,61$ ; ES = 0,13). Além disso, a percepção de fadiga mental foi maior após o teste de Stroop do que o tratamento controle ( $p < 0,001$ ; ES = 1,80). Em contraste, a percepção de fadiga mental aumentou no POST-SWIM em relação ao POST-TREAT na situação controle ( $p < 0,01$ ; ES = 1,34), mas não diferiu após o

exercício na situação em que houve fadiga mental ( $p = 0,96$ ;  $ES = 0,19$ ) (Figura 1-A).

Após o Stroop Test, o esforço mental foi maior que o tratamento controle ( $p < 0,001$ ;  $ES = 2,11$ ). Em contraste, o esforço mental após o exercício não foi diferente entre as situações experimentais ( $p > 0,05$ ;  $ES = 0,47$ ) (Figura 1-B). Quando medida no POST-TREAT, antes da prova de natação, a motivação não foi diferente entre as situações ( $p = 0,54$ ; potência = 0,05;  $ES = 0,09$ ) (Figura 1-C).

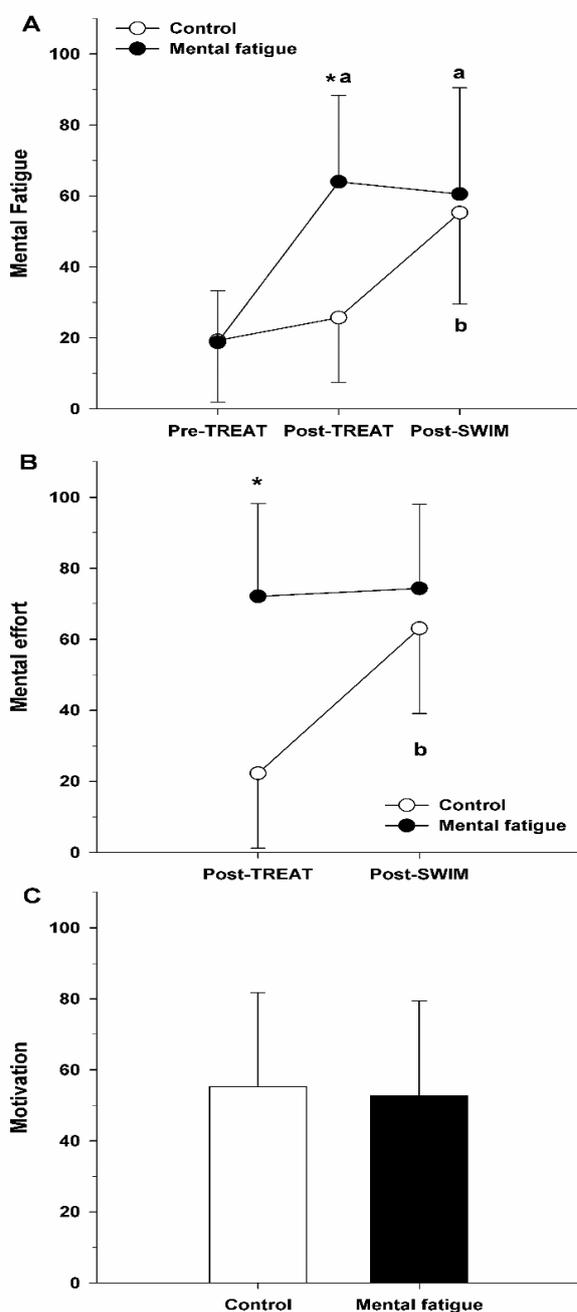


Figura 1. Medida subjetiva da fadiga mental (A) antes do tratamento (PRE-TRAT), após o teste de Stroop ou manipulação do controle (POST-TREAT) e no pós-natação (POST-SWIM). Esforço mental (B) após o teste de Stroop ou manipulação de controle (POST-TREAT) e no pós-natação (POST-SWIM). Motivação (C) antes da prova de natação em ambas as situações.

\* significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) da situação controle; um significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) do momento anterior nas situações de fadiga mental; b significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) do momento anterior na situação controle.

#### 5.4.2 Desempenho físico

A fadiga mental reduziu o desempenho na prova de natação de 1500 m, evidenciado pelo aumento de  $1,2 \pm 1,3\%$  no tempo gasto para completar o teste de contra relógio de 1500 m ( $p < 0,05$ ; poder = 0,70; ES = 0,13) (Figura 2A). Digno de nota, 12 dos 16 nadadores demoraram mais para completar os 1500 metros depois de terem sido submetidos ao teste de Stroop (Figura 2B). Portanto, a velocidade média atingida pelos nadadores foi mais lenta na situação em que eles estavam mentalmente fatigados do que durante a situação controle ( $1,169 \pm 0,106$  m / s vs.  $1,115 \pm 0,101$  m / s;  $p < 0,05$ ; potência = 0,74; ES = 0,14 ).

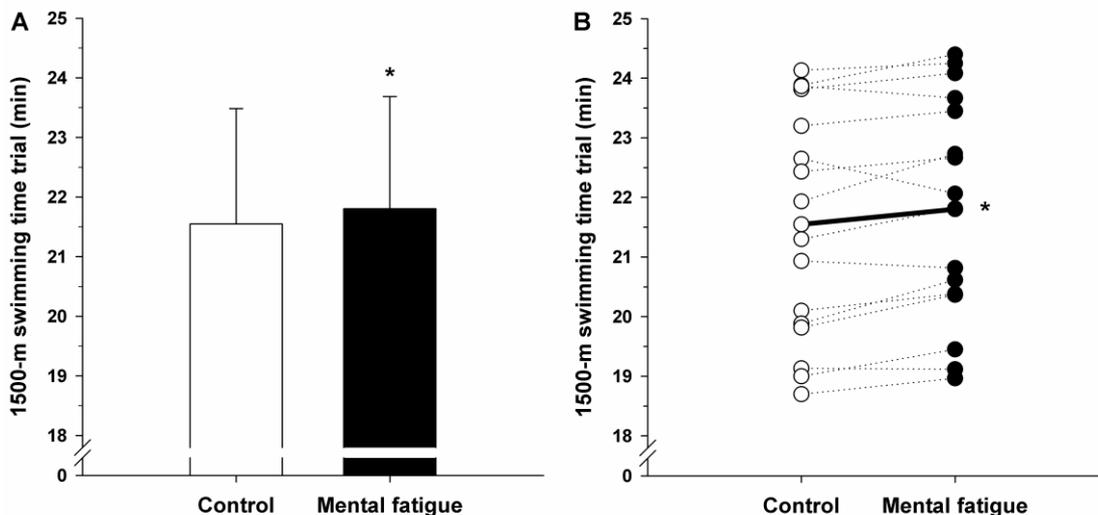


Figura 2. Tempo médio total de exercício (A) e tempos individuais (B) para completar o teste de de natação de 1500 m nas duas situações experimentais (ou seja, controle e fadiga mental). Cada linha pontilhada representa um voluntário, enquanto uma linha sólida representa sua resposta média. \* significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) da situação controle.

O perfil de pacing ao longo da prova foi influenciado pela distância percorrida ( $F = 20,01$ ;  $p < 0,001$ ; potência = 1,00), sendo os nadadores mais lentos nos 600 m ( $p < 0,001$ ; ES = 0,39), 900 m ( $p < 0,001$ ; ES = 0,30 ) e 1200 m ( $p = 0,01$ ;

ES = 0,23) quando comparado a 300 m; e sendo mais rápidos a 1500m quando comparado aos 600m ( $p < 0,001$ ; ES = 0,32) e 900m ( $p < 0,01$ ; ES = 0,24). Além disso, o tempo médio de pacing para cada 300 m foi mais lento durante o teste de fadiga mental em relação ao teste de controle ( $F = 4,62$ ;  $p < 0,05$ ; potência = 0,42; ES = 0,10). Em relação à resposta perceptiva, o PSE aumentou ao longo do tempo ( $F = 126,25$ ;  $p > 0,001$ ; poder = 1,00) (Figura 3-B), atingindo valores próximos a 20 no final do estudo. Apesar das diferenças de desempenho, a PSE não foi diferente entre os ensaios experimentais ( $F = 0,01$ ;  $p > 0,05$ ; poder = 0,05; ES = 0,01).

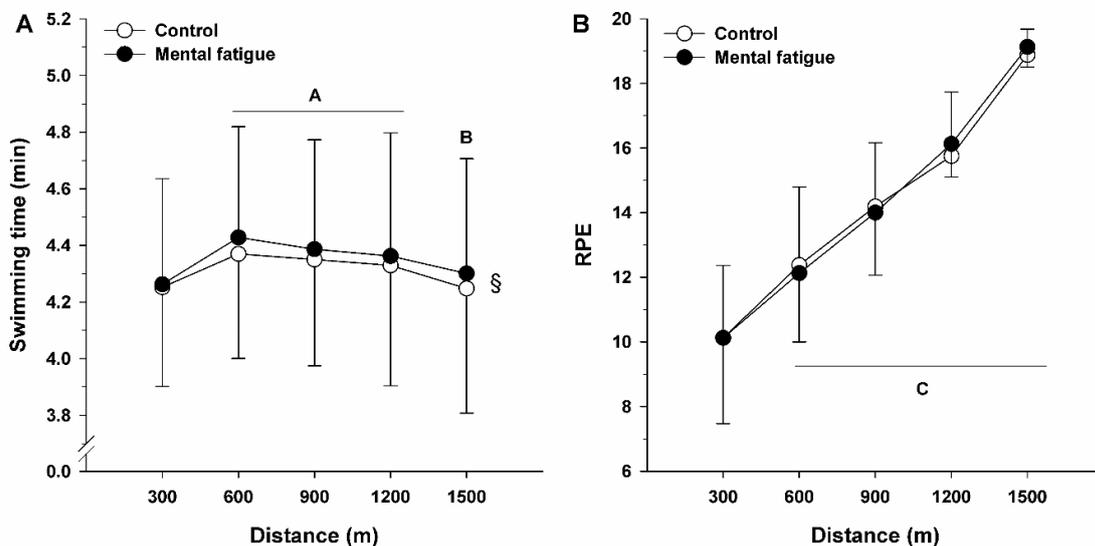


Figura 3. Pacing (A) e PSE (B) durante a prova de natação de 1500 m em ambos os ensaios experimentais. § efeito significativo da condição ( $p < 0,05$ ); a - Significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) dos 300 m; b- significativamente diferente dos 900 m; c- significativamente diferente da distância anterior.

#### 5.4.3 VFC

A *Two-Way Anova* revelou apenas um efeito principal para o momento de análise nos dados quanto à média do RR ( $F = 15,49$ ;  $p < 0,001$ ; poder = 1,00), RMSSD ( $F = 44,95$ ;  $p < 0,001$ ; poder = 1,00) e LF / HF ( $F = 9,98$ ;  $p = 0,009$ ; potência = 0,79). Nenhum efeito principal para ensaios experimentais ou interação entre fatores foi observado. Os testes post hoc mostraram que a média do RR ( $p < 0,001$ ; ES = 3,98) e RMSSD ( $p < 0,001$ ; ES = 2,49) foram menores no POST-SWIM em comparação ao POST-TREAT, e que o LF / HF foi maior no POST-SWIM comparado ao POST-TREAT ( $p < 0,001$ ; ES = 1,13).

Não houve diferenças no logaritmo natural de baixa frequência ( $F = 0,02$ ;  $p = 0,91$ ;  $\text{power} = 0,05$ ;  $ES = 0,03$ ), LF ( $F = 0,08$ ;  $p = 0,79$ ;  $\text{power} = 0,05$ ;  $ES = 0,06$ ), logaritmo natural de alta frequência ( $F = 0,11$ ;  $p = 0,74$ ;  $\text{power} = 0,05$ ;  $ES = 0,07$ ) e HF ( $F = 0,07$ ;  $p = 0,80$ ;  $\text{power} = 0,05$ ;  $ES = 0,05$ ) foram observadas em ensaios ou condições (Tabela 1).

TABELA 1 - Parâmetros de variabilidade da frequência cardíaca calculados antes e após os 1.500 m - natação nas duas condições experimentais (fadiga mental e controle).

	Fadiga Mental		Controle	
	POST-TREAT	POST-SWIM	POST-TREAT	POST-SWIM
RR (ms)	772.4 ± 99.8	529.5 ± 46.7	783.7 ± 79.8	522.2 ± 28.4
RMSSD (ms)	50.7 ± 23.1	13.5 ± 10.0	46.3 ± 14.3	14.6 ± 9.6
InLF (ms <sup>2</sup> )	-2.59 ± 0.24	-2.63 ± 0.32	-2.65 ± 0.33	-2.59 ± 0.28
InHF (ms <sup>2</sup> )	-1.66 ± 0.19	-1.61 ± 0.32	-1.61 ± 0.18	-1.62 ± 0.32
LF (n.u.)	74.7 ± 12.5	81.0 ± 16.3	71.9 ± 13.1	82.3 ± 11.2
HF (n.u.)	25.1 ± 12.4	18.8 ± 16.2	27.9 ± 13.1	17.4 ± 11.1
LF/HF	3.8 ± 1.9	8.4 ± 6.3	3.3 ± 1.8	6.7 ± 3.6

Legenda: InHF = Logaritmos Naturais de Alta Frequência; InLF = Logaritmos Naturais de Baixa Frequência; HF = alta frequência; LF = baixa frequência; LF / HF = Razão; POST-SWIM = Post Swimming; PÓS-TRATAMENTO = Pós Tratamento; RMSSD = Raiz quadrada da média da soma dos quadrados das diferenças; Intervalos RR = R-R

## 5.5 DISCUSSÃO

O objetivo do presente estudo foi testar a hipótese de que um teste cognitivo prolongado e exigente levaria a uma maior percepção do estado de fadiga mental, o que, por sua vez, prejudicaria o desempenho da natação e alteraria o equilíbrio autonômico cardíaco. Nossos achados confirmaram parcialmente

essa hipótese. De fato, um teste cognitivo prolongado foi suficiente para aumentar a percepção de fadiga mental e prejudicar o desempenho na natação (Figura 2), sem alterações concomitantes no equilíbrio autonômico cardíaco do coração (Tabela 1). Esses achados corroboram estudos prévios que investigaram a relação entre o estado de fadiga mental e o desempenho físico (8,18,28). Especificamente, trabalhos anteriores nesta área revelaram que a fadiga mental prejudica o desempenho na corrida (18,27). No entanto, de acordo com o nosso conhecimento, este é o primeiro estudo que avalia os efeitos da fadiga mental sobre o desempenho em natação.

É importante ressaltar que o efeito estatisticamente significativo da manipulação da fadiga mental no desempenho da natação (ou seja, aumento de  $0,2 \pm 1,3\%$  no tempo médio para completar um teste contra 1.500) foi trivial tanto para o tempo (ES = 0,13) quanto para velocidade média (ES = 0,14). Entretanto, 12 dos 16 nadadores (75%) reduziram seu desempenho físico após a manipulação da fadiga mental e um delta de 1,2% no tempo total de exercício é maior, por exemplo, do que as diferenças encontradas entre os três medalhistas nos Jogos Olímpicos de 2016 (delta de 0,72% no tempo de completar os 1500 m de natação). Assim, os pequenos efeitos da fadiga mental sobre o desempenho físico e a velocidade média podem ser relevantes para um ambiente competitivo.

Embora a fadiga mental prejudicasse o desempenho físico, como evidenciado pela redução da velocidade de nado (Figura 2), não foram observadas alterações na PSE ao longo da prova de natação de 1500 m (Figura 3). Isso se alinha aos resultados de outros estudos (18,28) que não observaram diferenças entre as condições na PSE durante protocolos de corrida autorregulada. Coletivamente, esses resultados sugerem que a fadiga mental aumenta o esforço percebido durante o exercício prolongado autorregulado. De fato, durante o exercício de intensidade fixa, os atletas relatam uma PSE mais elevada enquanto durante o exercício autorregulado, os atletas regulam seu ritmo para manter a PSE semelhante entre as condições.

Tem sido sugerido que mudanças no estado de motivação, devido à fadiga mental, podem influenciar o desempenho físico. No entanto, não identificamos que esse seja o caso, considerando que não foram identificadas diferenças

entre as situações nos níveis de motivação antes da prova de natação (Figura 1C). Assim, o desempenho físico reduzido após a aplicação do teste de Stroop não pode ser explicado por mudanças na motivação. De fato, foi demonstrado que a fadiga mental nem sempre está associada ao desengajamento da tarefa (12) ou à motivação reduzida (20). A fadiga mental tem sido associada à diminuição de outros componentes do desempenho cognitivo, como a eficiência cognitiva (medida pela redução do tempo de reação em um teste de *flanker* prolongado) (5,17) ou a disponibilidade de recursos cognitivos (15). Contudo, é importante ressaltar que a influência dos componentes da cognição acima mencionados no desempenho físico é atualmente desconhecida.

A percepção do esforço mental aumentou após a prova na situação controle, enquanto permaneceu alta na condição em que houve fadiga mental (Figura 1B). Coletivamente, esses resultados refletem o fato de que a natação de longa distância foi percebida como mentalmente cansativa (em ambas as situações experimentais), e esse esforço pode estar associado à tomada de decisão consciente e contínua em relação à regulação da intensidade do exercício (25). Esse resultado alinha-se à premissa de que quando um participante se engaja em exercícios de longa duração e / ou alta intensidade, seu foco de atenção permanece interno (associativo) (14), particularmente relacionado à regulação das sensações corporais e estratégia de *pacing* (32).

A indução de maiores percepções de fadiga mental não alterou nenhum parâmetro da VFC investigado no presente estudo (Tabela 1). Assim, a hipótese de que a fadiga mental reduz a atividade vagal e promove hiperatividade simpática não foi confirmada. Assim, mudanças na VFC não podem ser responsáveis pela queda de desempenho observado quando houve a indução de fadiga mental. Esse resultado contrasta com os relatados anteriormente (21,30), cujos estudos mostraram redução da VFC e aumento dos marcadores simpáticos (por exemplo, componente de baixa frequência) devido à fadiga mental. Esses achados conflitantes podem ter ocorrido porque examinamos a VFC após o teste cognitivo, enquanto outros (21,30) examinaram a VFC durante o teste cognitivo. Essa diferença metodológica é importante, pois a predominância do tônus vagal pode ser rapidamente

recuperada após o término da tarefa cognitiva (26), não sendo observada após a conclusão do esforço físico.

### **5.6 APLICAÇÕES PRÁTICAS**

Estudos anteriores mostraram que a fadiga mental prejudica o desempenho físico em uma variedade de contextos esportivos. Esta investigação estende esses achados para o contexto da natação de longa distância (1500 m). Os achados deste estudo são importantes para treinadores e profissionais responsáveis pelo planejamento e execução de programas de treinamento, particularmente aqueles envolvendo jovens atletas em idade escolar. Os atletas jovens estão engajados, diariamente, em tarefas cognitivas prolongadas (por exemplo, escola), além de sua rotina de treinamento e competição. Os treinadores devem estar conscientes do impacto que essas tarefas cognitivas podem ter no desempenho durante as sessões de treinamento. Por exemplo, em comparação com uma semana regular de aula, a fadiga mental pode ser maior durante uma semana de provas na escola, afetando negativamente o desempenho físico. Outra questão importante em relação ao contexto da natação em particular, quem mantém uma cultura de sessões de treinamento matutino (comumente antes das 6 horas da manhã). O tempo reduzido de sono crônico pode influenciar negativamente o desempenho em tarefas cognitivas e motoras (11). Além disso, atividades de lazer envolvendo ambientes virtuais (por exemplo, jogos eletrônicos, mídias sociais) são muito populares entre as populações em idade escolar. Essas atividades podem potencialmente induzir fadiga mental.

### **5.7 CONCLUSÃO**

Os dados atuais demonstram que a indução de fadiga mental prejudicou o desempenho físico em jovens nadadores. Notavelmente, durante os testes de fadiga mental, os jovens atletas apresentaram uma PSE semelhante, mas nadaram em um ritmo mais lento do que no teste de controle. Nenhuma mudança na VFC foi observada entre as condições.

## 5.8 REFERÊNCIAS

1. Acharya UR, Joseph KP, Choo NK, Lim M, Suri JS. Heart rate variability : a review. *Med Biol Eng Comput.* 2006;44(1):1031-1051. doi:10.1007/s11517-006-0119-0.
2. Atlaoui D, Pichot V, Lacoste L, Barale F, Lacour JR, Chatard JC. Heart rate variability, training variation and performance in elite swimmers. *Int J Sports Med.* 2007;28(5):394-400. doi:10.1055/s-2006-924490.
3. Badin O, Smith MR, Conte D, Coutts AJ. Mental Fatigue Impairs Technical Performance in Small-Sided Soccer Games. *Int J Sports Physiol Perform.* 2016;11(8):1100-1105. doi: 10.1123/ijsp.2015-0710.
4. Baumert M, Brechtel L, Lock J, et al. Heart Rate Variability, Blood Pressure Variability, and Baroreflex Sensitivity in Overtrained Athletes. *Clin J Sport Med.* 2006;16:412-417. doi:10.1097/01.jsm.0000244610.34594.07.
5. Boksem MAS, Meijman TF, Lorist MM. Effects of mental fatigue on attention : An ERP study. *Cogn Brain Res.* 2005;25:107-116. doi:10.1016/j.cogbrainres.2005.04.011.
6. Boksem MAS, Tops M. Mental fatigue: Costs and benefits. *Brain Res Rev.* 2008;59(1):125-139. doi:10.1016/j.brainresrev.2008.07.001.
7. Borg G. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 1982;14(5):377-381. doi:10.1249/00005768-198205000-00012.
8. Brownsberger J, Edwards A, Crowther R, Cottrell D. Impact of mental fatigue on self-paced exercise. *Int J Sports Med.* 2013;34(12):1029-1036. doi:10.1055/s-0033-1343402.
9. Chalencon S, Busso T, Lacour J-R, et al. A Model for the Training Effects in Swimming Demonstrates a Strong Relationship between Parasympathetic Activity , Performance and Index of Fatigue. *PLoS One.* 2012;7(12):1-10. doi:10.1371/journal.pone.0052636.
10. Cutsem J Van, Marcora S, Pauw K De, Bailey S, Meeusen R, Roelands B. The Effects of Mental Fatigue on Physical Performance : A Systematic Review. *Sport Med.* 2017;47(8):1569-1588. doi:10.1007/s40279-016-0672-0.
11. Fullagar HHK, Skorski S, Duffield R, Hammes D, Coutts AJ, Meyer T. Sleep and Athletic Performance: The Effects of Sleep Loss on Exercise Performance, and Physiological and Cognitive Responses to Exercise. *Sport Med.* 2015;45(2):161-186. doi:10.1007/s40279-014-0260-0.
12. Gergelyfi M, Jacob B, Olivier E, Zénon A. Dissociation between mental fatigue and motivational state during prolonged mental activity. *Front Behav Neurosci.* 2015;9(13):1-15. doi:10.3389/fnbeh.2015.00176.
13. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(1):3-12. doi:10.1249/MSS.0b013e31818cb278.
14. Hutchinson JC, Tenenbaum G. Attention focus during physical effort: The mediating role of task intensity. *Psychol Sport Exerc.* 2007;8(2):233-245. doi:10.1016/j.psychsport.2006.03.006.
15. Kato Y, Endo H, Kizuka T. Mental fatigue and impaired response processes : Event-related brain potentials in a Go / NoGo task. *Int J Psychophysiol.* 2009;72(2):204-211. doi:10.1016/j.ijpsycho.2008.12.008.
16. Kenttä G, Hassmén P. Overtraining and Recovery: A Conceptual Model. *Sport Med.* 1998;26(1):1-16.

17. Lorist MM, Boksem MAS, Ridderinkhof KR. Impaired cognitive control and reduced cingulate activity during mental fatigue. *Cogn Brain Res*. 2005;24(2):199-205. doi:10.1016/j.cogbrainres.2005.01.018.
18. MacMahon C, Schücker L, Hagemann N, Strauss B. Cognitive fatigue effects on physical performance during running. *J Sport Exerc Psychol*. 2014;36(4):375-381. doi:10.1123/jsep.2013-0249.
19. Marcora SM, Staiano W, Manning V. Mental fatigue impairs physical performance in humans. *J Appl Physiol*. 2009;106(3):857-864. doi:10.1152/jappphysiol.91324.2008.
20. Martin K, Thompson KG, Keegan R, Ball N, Rattray B. Mental fatigue does not affect maximal anaerobic exercise performance. *Eur J Appl Physiol*. 2015;115(4):715-725. doi:10.1007/s00421-014-3052-1.
21. Mizuno K, Tanaka M, Yamaguti K, Kajimoto O, Kuratsune H, Watanabe Y. Mental fatigue caused by prolonged cognitive load associated with sympathetic hyperactivity. *Behav Brain Funct*. 2011;7(1):17. doi:10.1186/1744-9081-7-17.
22. Nummela A, Hynynen E, Kaikkonen P, Rusko H. High-intensity endurance training increases nocturnal heart rate variability in sedentary participants. *Biol Sport*. 2016;33(1):7-13. doi:10.5604/20831862.1180171.
23. Pageaux B, Lepers R, Dietz KC, Marcora SM. Response inhibition impairs subsequent self-paced endurance performance. *Eur J Appl Physiol*. 2014;114(5):1095-1105. doi:10.1007/s00421-014-2838-5.
24. Raglin J, Sawamura S, Alexiou S, Hassmen P, Kentta G. Training Practices and Staleness in 13-18-Year-Old Swimmers: A Cross-cultural Study. *Pediatr Exerc Sci*. 2000;12:61-70.
25. Renfree A, Martin L, Micklewright D, St Clair Gibson A. Application of decision-making theory to the regulation of muscular work rate during self-paced competitive endurance activity. *Sport Med*. 2014;44(2):147-158. doi:10.1007/s40279-013-0107-0.
26. Saul JP. Beat-to-Beat Variations of Heart-Rate Reflect Modulation of Cardiac Autonomic Outflow. *News Physiol Sci*. 1990;5(1):32-37.
27. Smith MR, Coutts AJ, Merlini M, Deprez D, Lenoir M, Marcora SM. Mental fatigue impairs soccer-specific physical and technical performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2016;48(2):267-276. doi:10.1249/MSS.0000000000000762.
28. Smith MR, Marcora SM, Coutts AJ. Mental fatigue impairs intermittent running performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2015;47(8):1682-1690. doi:10.1249/MSS.0000000000000592.
29. Smith MR, Zeuwts L, Lenoir M, Hens N, De Jong LMS, Coutts AJ. Mental fatigue impairs soccer-specific decision-making skill. *J Sports Sci*. 2016;34(14):1297-1304. doi:10.1080/02640414.2016.1156241.
30. Tanaka M, Mizuno K, Tajima S, Sasabe T, Watanabe Y. Central nervous system fatigue alters autonomic nerve activity. *Life Sci*. 2009;84(7-8):235-239. doi:10.1016/j.lfs.2008.12.004.
31. Task F. Guidelines: Heart rate variability Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Eur Heart J*. 1996;17:354-381. doi:10.1161/01.CIR.93.5.1043.

32. Tenenbaum G, Connolly CT. Attention allocation under varied workload and effort perception in rowers. *Psychol Sport Exerc.* 2008;9(5):704-717. doi:10.1016/j.psychsport.2007.09.002.
33. Van der Linden D, Frese M, Meijman TF. Mental fatigue and the control of cognitive processes: Effects on perseveration and planning. *Acta Psychol (Amst).* 2003;113(1):45-65. doi:10.1016/S0001-6918(02)00150-6.

## **6 ESTUDO 2- Efeito da fadiga mental, da estimulação cerebral do córtex temporal e da associação de ambos no desempenho físico aeróbio em atletas masters de natação: uma abordagem quali-quantitativa.**

### **6.1 Resumo**

A fadiga mental é um estado psicobiológico causado por períodos prolongados de esforço cognitivo, e tem sido observado que esse estado é capaz de reduzir o desempenho físico aeróbio subsequente. Para reverter esses efeitos deletérios, diferentes recursos ergogênicos têm sido apontados, inclusive a estimulação cerebral cuja eficácia é controversa. Além disso, a forma com que atletas percebem a fadiga mental e a estimulação cerebral também é desconhecida. Nesse estudo, 10 atletas master de natação (idade  $30 \pm 5.81$  anos e  $14 \pm 8.34$  anos de experiência de natação) participaram de quatro situações experimentais prévias a uma prova de 800 m de nado livre: com a presença de fadiga mental e a estimulação cerebral (FM+EST); fadiga mental sem estimulação cerebral (FM+SHAM); sem a presença de fadiga mental, com estimulação cerebral (CONT+EST); e sem a presença de fadiga mental e estimulação cerebral (CONT+SHAM). Ao término da prova os atletas foram entrevistados para reportarem suas percepções a respeito dos fatores que podem ter influenciado o próprio desempenho. A análise estatística inferencial revelou que a indução da fadiga mental não reduziu o desempenho (tempo para completar os 800m). De forma semelhante, a estimulação cerebral não aumentou o desempenho. Contudo, após a análise qualitativa das entrevistas, foi possível identificar que a fadiga mental alterou a percepção subjetiva da capacidade de concentração dos atletas, e isso teve um impacto em outras variáveis perceptivas e comportamentais. Todavia, os atletas foram capazes de se auto motivar para manter o nível de desempenho semelhante. Em suma, a fadiga mental não reduz o desempenho de atletas masters de natação, mas é capaz de alterar diferentes variáveis perceptivas. Contudo, a estimulação cerebral não foi capaz de melhorar o desempenho e não foi percebida pelos atletas.

**Palavras-Chave:** Fadiga Mental, Natação, Qualitativo, ETCC, Córtex Temporal.

## **6.2 Introdução**

A fadiga mental é conceituada como um estado psicobiológico causada por períodos prolongados de esforços cognitivos, sendo caracterizada por alterações em domínios específicos, como o cognitivo, comportamental e fisiológico (Cutsem et al., 2017). Especificamente em atletas, tem sido demonstrado que esse estado mental reduz o desempenho aeróbico prolongado em modalidades coletivas (Penna, Filho, Campos, et al., 2018a; Smith et al., 2016) e individuais (Penna, Filho, Wanner, et al., 2018b; Staiano et al., 2018).

Apesar dos mecanismos envolvidos ainda não estarem totalmente esclarecidos, a redução do desempenho induzida pelo estado de fadiga mental é marcante. As medidas fisiológicas tradicionalmente associadas ao desempenho aeróbico, como frequência cardíaca, acúmulo de lactato sanguíneo, consumo de oxigênio, tendem a não se alterar em diferentes tipos de exercício em função da fadiga mental (Marcora, Staiano, & Manning, 2009). Contudo, alterações perceptivas relacionadas à percepção subjetiva do esforço (PSE) e à menor percepção de recompensas relativas ao exercício foram observadas (Schiphof-Godart, Roelands, & Hettinga, 2018). Portanto, tem sido proposto que longos períodos de elevada demanda de atividade cognitiva podem aumentar as concentrações extracelulares de adenosina no cérebro que, por sua vez, podem ter um efeito negativo na PSE e reduzir a volição do indivíduo em exercer um maior esforço durante a exercício físico (Martin, Meeusen, Thompson, Keegan, & Rattray, 2018).

Para conter agudamente os efeitos adversos dos diferentes tipos de manifestação da fadiga central no contexto esportivo, diferentes recursos ergogênicos têm sido empregados (Campos et al., 2018; Mielgo-Ayuso et al., 2019). Por exemplo, existem evidências que o consumo agudo de cafeína reverte os efeitos deletérios causados pela fadiga mental no desempenho físico (Azevedo, Silva-Cavalcante, Gualano, Lima-Silva, & Bertuzzi, 2016; Franco-Alvarenga et al., 2019; Meeusen, Marcora, Roelands, De Pauw, & Van Cutsem, 2017). Esses trabalhos identificaram que, além de benefícios fisiológicos, a cafeína também atenuou, em condições de fadiga mental, o aumento anormal

da PSE, sendo esta variável considerada chave na relação entre fadiga mental e desempenho.

Além da cafeína, outro recurso ergogênico que tem sido mostrado como capaz de reduzir a percepção de esforço em atividades prolongadas predominantemente aeróbias é a estimulação cerebral, principalmente por meio do uso da estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC) (Lattari et al., 2016; Okano et al., 2015). A ETCC se caracteriza pela aplicação de uma fraca corrente elétrica sobre o couro cabeludo, a qual altera a excitabilidade neuronal por períodos prolongados. A ETCC favorece a despolarização da membrana pela estimulação anódica ou causa inibição por meio da hiperpolarização provocada pela estimulação catódica (Colzato, Nitsche, & Kibele, 2016).

No contexto esportivo, o uso da ETCC apresenta resultados contraditórios; contudo, estudos meta-analíticos têm demonstrado um efeito pequeno ( $ES=0.34$ ) porém positivo no que diz respeito à melhoria do desempenho físico após a estimulação (Colzato et al., 2016; Holgado, Vadillo, & Sanabria, 2019). Além disso, protocolos de estimulação cerebral também parecem melhorar aspectos perceptivos relacionados ao desempenho, como o vigor (Valenzuela et al., 2018) e principalmente a PSE. Okano et al. (2015), ao estimularem o córtex temporal em atletas, demonstraram redução da PSE ao longo de um teste aeróbio prolongado, o que sugere a participação desta região do cérebro na regulação da intensidade e tolerância ao exercício físico prolongado.

Apesar do crescente volume de estudos referentes ao efeito da fadiga mental e da ETCC no desempenho físico, diferentes abordagens metodológicas de análise envolvendo a essas variáveis ainda são escassas. A partir disso, uma abordagem qualitativa, que permite uma análise aprofundada das partes de um fenômeno se faz relevante, já que o desempenho físico humano é complexo e dinâmico. Portanto, uma abordagem qualitativa possibilita a consideração de possíveis alterações sutis, que provavelmente não apareceriam em uma abordagem tradicional (Gustafsson, Hassmén, Kenttä, & Johansson, 2008).

Assim, sabe-se que a fadiga mental pode prejudicar o desempenho físico principalmente por meio de alterações perceptivas alteradas ao longo do

exercício. Por outro lado, a estimulação cerebral pode melhorar o desempenho por meio da redução da PSE. Contudo, se a estimulação cerebral é capaz de reverter os prejuízos observados em atletas mentalmente fadigados ainda é desconhecido. Além disso, a forma com que os atletas percebem a fadiga mental também carece de maiores esclarecimentos. Logo, o presente estudo objetiva verificar possíveis relações entre fadiga mental e a estimulação cerebral no desempenho físico de atletas de natação. Hipotetiza-se que a fadiga mental reduzirá o desempenho (H1) e que a estimulação cerebral atenuará essa redução e, quando a fadiga mental não for induzida experimentalmente, melhorará o desempenho (H2).

### **6.3 Métodos**

#### *6.3.1 Amostra*

Participaram do presente estudo 10 atletas masters de natação (idade  $30 \pm 5.81$  anos e  $14 \pm 8.34$  anos de experiência com treinamentos regulares e competições de natação) do sexo masculino. Todos mantinham uma frequência semanal de 3 ou 4 sessões de treinamento, totalizando aproximadamente 7 horas por semana. Os voluntários assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) concordando com os procedimentos do estudo, que foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG (sob número de protocolo 69475417.7.0000.5149). Na época do estudo, todos os participantes foram finalistas do campeonato brasileiro master disputado no ano de 2018, e 2 eram recordistas pan-americanos em suas respectivas provas.

#### *6.3.2 Delineamento experimental*

Esse estudo foi composto por quatro situações experimentais, durante as quais os voluntários nadaram a distância de 800 m em uma piscina olímpica (50 m de comprimento) no menor tempo possível (medida do desempenho físico). Previamente a cada teste de natação, os voluntários foram expostos, de forma aleatorizada e balanceada, a uma das quatro manipulações descritas a seguir: fadiga mental com estimulação cerebral (FM+EST), fadiga mental sem estimulação cerebral (FM+SHAM), controle com estimulação cerebral (CONT+EST) e controle sem estimulação cerebral (CONT+SHAM).

Antes do início de cada situação, foram explicados aos voluntários todos os procedimentos que seriam realizados, e que ele não seria informado sobre o protocolo de estimulação ao longo das situações experimentais. Imediatamente após, os voluntários foram conduzidos a uma sala reservada onde preencheram as escalas perceptivas de percepção de fadiga mental (EVA) referentes ao momento pré-protocolo de indução de fadiga mental. Imediatamente após, foi realizada a montagem do aparelho de estimulação cerebral e, na sequência, foi realizado o protocolo de indução de fadiga mental ou a situação controle. Os voluntários então preencheram as escalas perceptivas (percepção de fadiga mental e motivação para o teste físico subsequente) referentes ao momento pós-protocolo. Imediatamente após o preenchimento das escalas, os voluntários foram conduzidos à piscina (raias 1 ou 8) para a realização do teste de desempenho físico. Durante o nado, os voluntários eram acompanhados pelo pesquisador principal e, a cada 200 m, foi solicitado que verbalizassem o seu escore de PSE. Ao término do nado, foi conduzida uma entrevista semiestruturada para análise qualitativa, por parte dos voluntários, sobre a situação experimental realizada no dia. Um resumo do desenho experimental é apresentado na figura 1.

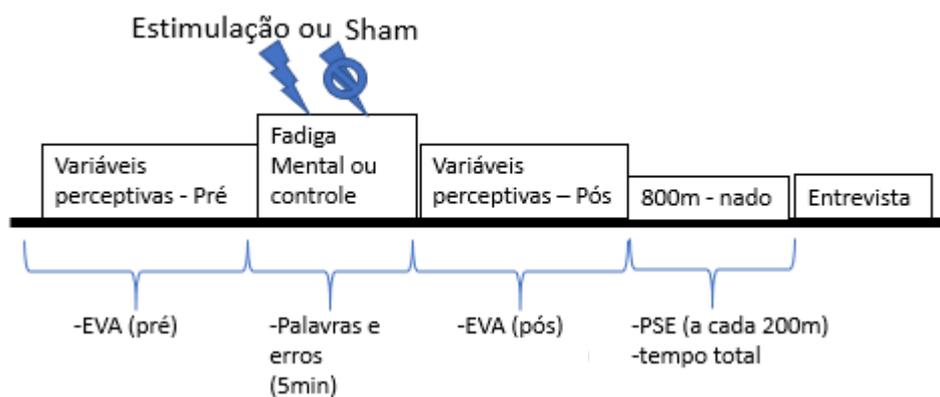


Figura 1. Delineamento experimental

### 6.3.3 Instrumentos - Escala Visual Análoga – EVA

Para avaliar a indução da fadiga mental, foi empregada uma escala visual análoga de 100 mm, ancorada pelas expressões “de forma alguma” e “máximo”, para as variáveis percepção de fadiga mental (pré- e pós-

tratamento) e motivação para o teste físico subsequente (pós-tratamento). Para análise da EVA, a distância entre o ponto inicial e a marcação feita pelos voluntários foi mensurada com uma régua, e os valores obtidos estão reportados como unidades arbitrárias (u.a.).

#### *6.3.4 Protocolo de Indução de Fadiga Mental*

A versão de papel do *Stroop Color Test* foi empregada para induzir fadiga mental, o que já foi demonstrado ser efetivo no contexto esportivo (Penna, Filho, Wanner, et al., 2018; Smith et al., 2016). O teste, com duração de 45 min, consistiu na apresentação de palavras (verde, vermelho, azul e amarelo) que estavam coloridas nas cores verde, vermelha, azul e amarela. Os indivíduos deveriam verbalizar qual era a cor da palavra (i.e. cor da tinta) e não o que estava escrito. Por exemplo, quando as palavras estivessem coloridas na cor vermelha, os voluntários deveriam ler o que estava escrito e não verbalizar a cor da palavra. O pesquisador principal monitorou as respostas e, a cada erro cometido, foi solicitado aos voluntários que reiniciassem a linha de palavras na qual o erro foi cometido. Foram registrados, a cada 5 min, o número de palavras corretas e o número de erros cometidos.

#### *6.3.5 Protocolo de Estimulação Cerebral*

O método de estimulação cerebral utilizado no estudo foi a estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC) modelo 1300A (Soterix Medical, New York City, US) sendo essa uma técnica não invasiva, reversível e segura (Gazerani, 2017). Cada eletrodo utilizado possui área de superfície de 35 cm<sup>2</sup>. A intensidade empregada foi de 2,0 mA.

A estimulação foi aplicada por meio de dois elétrodos cobertos por esponjas embebidas em uma solução salina, com o objetivo de evitar a transferência de calor para o couro cabeludo. Um eletrodo anodo (positivo) foi colocado sobre o córtex temporal esquerdo (área T3 do sistema internacional 10-20 de EEG), sendo essa a região excitada, conforme método utilizado por Okano et al. (2015). O eletrodo catodo (negativo) foi colocado sobre o ombro ipsilateral, caracterizando uma montagem extra-cefálica, conforme sugerido por Angius, Pageaux, Hopker, Marcora, & Mauger (2016). Durante as situações em que a

estimulação foi aplicada, os indivíduos receberam a estimulação sobre o córtex temporal, durante os últimos 30 minutos do *Stroop Color Test* ou da situação controle (filme). Nas duas situações Sham, os indivíduos passaram pelos mesmos procedimentos das situações com estimulação, ou seja, foram utilizados o mesmo equipamento, mesmo local de aplicação e mesma intensidade da corrente, porém a estimulação foi mantida por apenas 30 segundos, sendo então retirada gradativamente sem o conhecimento dos voluntários. Essa estratégia mantém os voluntários vedados ao procedimento ao qual estão sendo submetidos, uma vez que a maioria dos indivíduos relata a sensação de prurido apenas na fase inicial de aplicação da corrente. O equipamento foi mantido posicionado até que o teste fosse terminado.

#### *6.3.6 Medida de Desempenho Físico*

Como medida de desempenho físico, foram registrados os tempos para completar cada 50 m (pacing) e a distância total de 800 m.

#### *6.3.7 Percepção Subjetiva do Esforço*

De forma semelhante ao que foi realizado em um estudo anterior (Penna, Filho, Wanner, et al., 2018), a cada 200 m foi solicitado aos voluntários que verbalizassem a sua percepção do esforço empregado para apresentar o desempenho momentâneo, segundo uma escala de 10 pontos validada anteriormente (Foster et al., 2001). Essa verbalização do escore foi feita na chegada ou na saída dos 200 m, de acordo com a lateralidade da respiração dos voluntários, sendo que os mesmos não necessitavam interromper o nado.

#### *6.3.8 Entrevista semiestruturada*

Após o término do teste físico (800 m), os voluntários foram direcionados a uma sala próxima à piscina para a realização das entrevistas semiestruturadas. O roteiro da entrevista foi desenvolvido pelo primeiro (E.M.P), segundo (E.F.) e último autor (L.S.P.), e foi baseado nas características perceptivas do desempenho de indivíduos mentalmente fadigados (partindo da premissa que indivíduos apresentam alterações perceptivas, durante o exercício, em condições de fadiga mental em comparação com condições normais – ver Cutsem et al., 2017; Pageaux & Lepers, 2018). Após uma série de reuniões,

foram elaborados três conjuntos de perguntas que foram aplicados nas quatro situações e uma pergunta extra que foi aplicada na última situação: 1) *Qual foi a primeira coisa que passou pela sua cabeça quando você subiu no bloco, antes de iniciar a prova? O que você lembra de ter pensado durante a prova? O que você lembra de ter pensado nos últimos 100 m?* 2) *Como você classificaria o seu desempenho baseado naquilo que você acha ser capaz de fazer de melhor e por quê?* 3) *Quais fatores, principalmente perceptivos, você identifica que podem ter influenciado o seu desempenho hoje, baseado naquilo que você é capaz de fazer de melhor?* Na última situação, além dessas perguntas foi feita a seguinte pergunta: 4) *Após ter passado pelas 4 situações, o que você consegue relatar de diferente com relação às variáveis perceptivas em cada situação?*

#### 6.3.9 Análise Estatística

Para análise do delta entre os momentos pré- e pós-tratamento da EVA - fadiga mental, da EVA – motivação e tempo para completar os 800 m foram utilizadas ANOVAS *Two-Way* (fatores principais: fadiga mental e estimulação transcraniana) com medidas repetidas. O número de palavras respondidas e o número de erros no *Stroop Color Test* foram analisados por meio de ANOVAS *Two-Way* (fatores principais: estimulação e distância percorrida durante o teste) com medidas repetidas. Com relação ao tamanho do efeito foram adotados os seguintes critérios propostos anteriormente (Cohen, 1984): 0.01, 0.06 e acima de 0.14 foram respectivamente considerados como pequeno, médio e grande efeito. Todos os testes foram realizados no software Graphpad Prism 7.0 e o nível de significância adotado foi de  $\alpha < 0,05$ .

#### 6.3.10 Análise dos dados qualitativos

Os dados foram analisados por meio de análise categorial direta, que consiste em uma abordagem dedutiva de busca por categorias predeterminadas (Elo & Kyngäs, 2008; Hsieh & Shannon, 2005). Mais especificamente, o processo de codificação seguiu os passos propostos por Hsieh & Shannon (2005). Inicialmente, o primeiro, o segundo e último autor leram independentemente as transcrições literais de cada entrevista individual. Em seguida, eles procuraram unidades de significado (*meaning units - MU*) consistentes com os principais

temas representados na literatura relacionada às questões perceptivas e comportamentais do desempenho de indivíduos mentalmente fadigados: aspectos perceptivos: (a) concentração e (b) foco de atenção; aspectos comportamentais: (c) elementos técnicos e (d) estratégia de pacing. Além disso, aspectos relacionados à motivação também foram identificados posteriormente. A triangulação de análise de dados entre três codificadores independentes e reuniões de discussão entre os autores foi incluída como parte da análise de dados em um esforço para maximizar a confiabilidade. Um total de 145 MUs foram inicialmente identificadas pelos três codificadores independentes. Os autores discutiram então essas unidades de significado até que o consenso fosse alcançado, e selecionaram citações para ilustrar os dados dentro da redação do manuscrito.

## **6.4 Resultados**

### *6.4.1 Protocolo de indução do estado de fadiga mental*

Como esperado, a variação da percepção de fadiga mental (i.e., pós – pré-tratamento) foi maior nas situações em que foi aplicado o teste de Stroop do que nas situações controles ( $F(1, 36) = 52.65, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.59$  Fig. 1A). Não houve efeito principal da estimulação cerebral na percepção de fadiga mental ( $F(1, 36) = 0.284, p = 0.59, \eta_p^2 = 0.007$ ) e nem interação entre os dois fatores. Com relação à motivação (Fig. 1B), não foram identificadas diferenças entre as manipulações de fadiga mental ou controle ( $F(1, 36) = 0.541, p = 0.46, \eta_p^2 = 0.01$ ), entre as condições com e sem estimulação cerebral ( $F(1,36) = 0.002, p = 0.95, \eta_p^2 < 0.001$ ) e também não houve interação entre os grupos ( $F(1, 36) = 1.304, p = 0.26, \eta_p^2 = 0.01$ ). Isso significa que os voluntários iniciaram as situações experimentais sob condições similares de motivação.

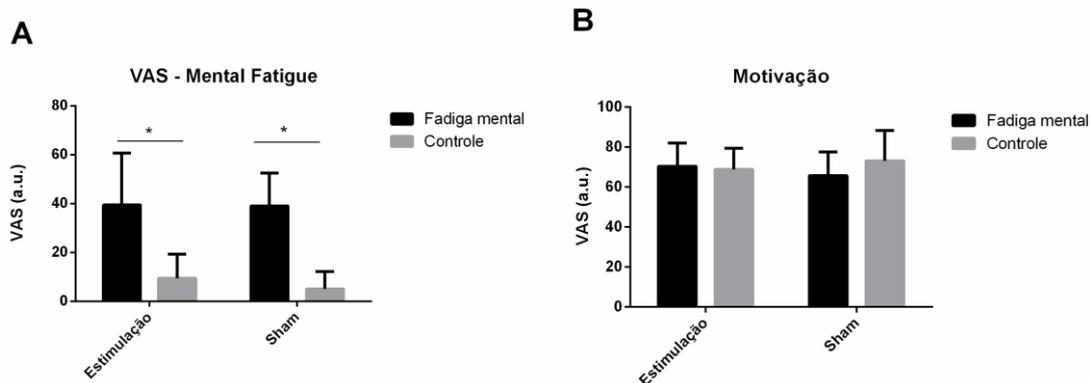


Figura 2. Delta (pós – pré-tratamento) da percepção de fadiga mental (A) e motivação para a tarefa subsequente de natação (B). Ambos os parâmetros foram medidos por meio de uma escala visual análoga (VAS). Os dados estão expressos como média  $\pm$  desvio padrão. \* - Diferença entre as situações de fadiga mental e controles.

Para compreender melhor a indução da fadiga mental e os efeitos da estimulação transcraniana sobre esta indução, nós registramos o número de palavras corretas e o número de erros dos atletas nas situações com aplicação do *Stroop Color Test* (figura 3). Não foram identificados efeitos principais de tempo ( $F(8,81) = 0.639$ ,  $p = 0.74$ ,  $\eta_p^2 = 0.003$ ) e de estimulação cerebral ( $F(8,81) = 0.257$ ,  $p = 0.61$ ,  $\eta_p^2 = 0.06$ ), assim como interação entre esses fatores ( $F(8,81) = 2.106$ ,  $p = 0.99$ ,  $\eta_p^2 = 0.004$ ) no número de palavras corretas (Fig. 2A). Contudo, em relação ao número de erros (Fig. 3B), apesar de não ter sido identificado efeito principal da estimulação cerebral ( $F(8,81) = 1.888$ ,  $p = 0.17$ ,  $\eta_p^2 = 0.02$ ) ou interação entre tempo e estimulação cerebral ( $F(8,81) = 0.209$ ,  $p = 0.98$ ,  $\eta_p^2 = 0.02$ ), foi identificado efeito principal de tempo ( $F(8,81) = 4.057$ ,  $p = 0.00198$ ,  $\eta_p^2 = 0.30$ ), indicando que os participantes cometeram mais erros durante os últimos 5 minutos quando comparados com os demais blocos de 5 minutos.

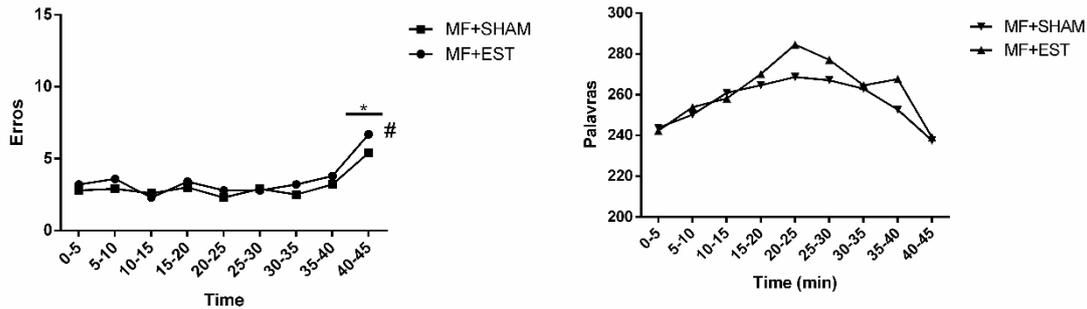


Figura 3. Desempenho durante o *Stroop Color Test*. A - Número de erros B – Número de palavras corretas em blocos de 5 minutos. Os dados estão expressos como média  $\pm$  desvio padrão. # - Efeito principal de tempo, \* -Diferença em comparação a todos os outros blocos de 5 minutos.

#### 6.4.2 Medidas de desempenho físico

Com relação ao tempo para completar os 800 m (figura 4), não foram identificadas influências do protocolo de indução de fadiga mental ( $F(8,81) = 0.500$ ,  $p = 0.49$ ,  $\eta_p^2 = 0.003$ ), da estimulação cerebral ( $F(8,81) = 0.260$ ,  $p = 0.62$ ,  $\eta_p^2 = 0.002$ ) e nem interação significativa entre os dois tratamentos ( $F(8,81) = 0.076$ ,  $p = 0.78$ ,  $\eta_p^2 < 0.001$ ). De forma semelhante, com relação ao pacing, não foram identificadas diferenças entre as situações experimentais ( $F(3,36) = 0.271$ ,  $p = 0.84$ ,  $\eta_p^2 = 0.01$ ), e nem interação entre fadiga mental e estimulação cerebral ( $F(45,540) = 1.182$ ,  $p = 0.20$ ,  $\eta_p^2 = 0.03$ ). Contudo, houve efeito principal da distância ( $F(15,540) = 41.980$ ,  $p = 0.01$ ,  $\eta_p^2 = 0.27$ ), indicando que os atletas regulam seu pacing de forma diferente ao longo dos 800 m de nado, sendo as maiores velocidades imprimidas nos 50 m iniciais. Além disso, a PSE não apresentou interação entre a fadiga mental e a estimulação cerebral ( $F(9,108) = 0.219$ ,  $p = 0.99$ ,  $\eta_p^2 = 0.01$ ), e não foram observadas diferenças entre as situações experimentais ( $F(3,36) = 0.041$ ,  $p = 0.98$ ,  $\eta_p^2 < 0.001$ ), sendo observada apenas efeito principal da distância ( $F(3,108) = 210.800$ ,  $p = 0.01$ ,  $\eta_p^2 = 0.85$ ).

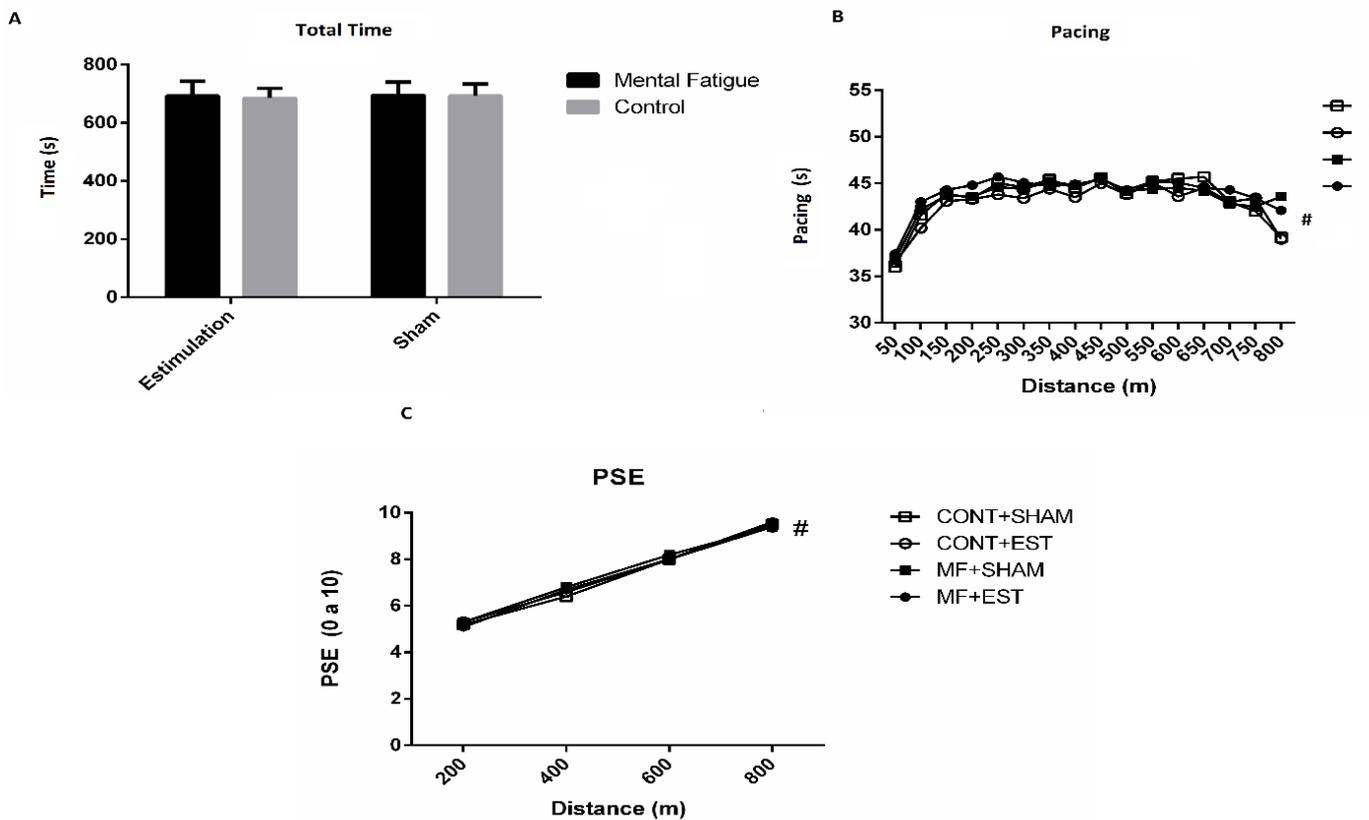


Figura 4. A - Tempo total para completar os 800m de nado. B- Estratégia de pacing ao longo da prova. C- Percepção subjetiva do esforço ao longo da prova. Os dados estão expressos como média  $\pm$  desvio padrão. # - Efeito principal de tempo.

#### 6.4.3 Análise qualitativa das entrevistas

As entrevistas tiveram uma duração média de  $4.3 \pm 0.3$  minutos, e um total de 145 MU foram identificadas. Após uma primeira análise das entrevistas, os pesquisadores concordaram que os atletas não perceberam efeitos significativos da estimulação cerebral ao longo das situações. Portanto, optou-se por agrupar situações experimentais e avaliar apenas questões relativas à presença ou não da fadiga mental (FM+EST e FM+SHAM vs. CONT+EST e CONT+SHAM).

Conforme citado anteriormente, a análise direta de conteúdo baseou-se em premissas presentes na literatura, as quais indicam que a fadiga mental afeta o desempenho principalmente por meio de alterações perceptivas relacionadas a execução da tarefa (ver Cutsem et al., 2017; Pageaux & Lepers, 2018). Além disso, nossa análise revelou que esses temas foram delineados por categorias

que envolvem aspectos cognitivos e comportamentais e suas respectivas subcategorias, conforme representado graficamente na Figura 5.

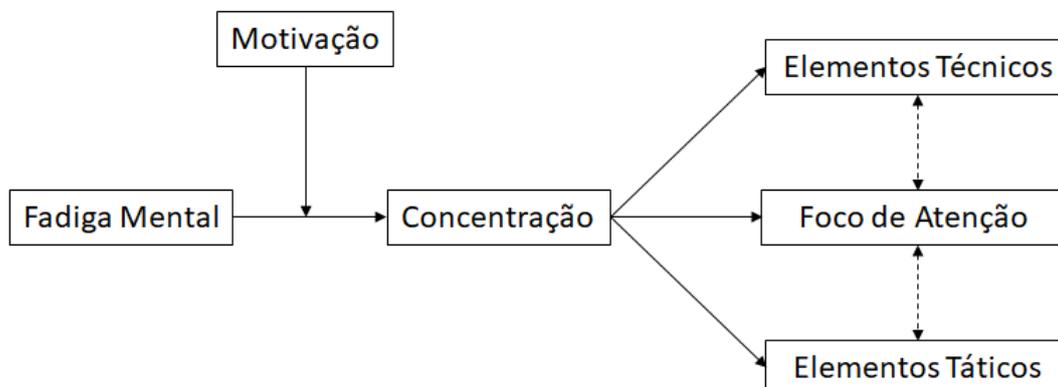


Figura 5. Representação esquemática do modelo cognitivo baseado nas categorias e subcategorias emergentes das entrevistas semiestruturadas.

A análise das entrevistas identificou que, quando os indivíduos estavam mentalmente fadigados (análise conjunta das situações FM+SHAM e FM+EST), houve um impacto negativo na capacidade de concentração. Conseqüentemente, outros elementos cognitivos (foco de atenção e elementos táticos) e comportamentais (elementos técnicos) também foram impactados negativamente devido à indução da fadiga mental. Portanto, a concentração pode ser identificada como uma variável que pode influenciar a concentração de forma direta, a qual por sua vez pode influenciar elementos técnico-táticos e influenciar o foco de atenção de atletas. Contudo, também foi identificado o papel moderador que a motivação possui nesse modelo, já que os atletas também relataram que, mesmo com o contexto adverso percebido por eles nas situações em que houve fadiga mental, a capacidade de se auto motivar e superar essa adversidade em prol de um melhor desempenho foi fundamental.

Tendo base o modelo proposto acima, seguem algumas MUs representativas de cada categoria e subcategoria em cada situação analisada (com a presença de fadiga mental, nas situações FM+EST e FM+SHAM e sem a presença de fadiga mental, nas situações CONT+EST e CONT+SHAM).

*Concentração:* Os voluntários perceberam de forma proeminente que a capacidade de se concentrar nos estímulos relevantes ao longo da prova foi diferente quando comparadas as situações com e sem fadiga mental. Dificuldades de cumprir o que havia planejado, sensações como estar “aéreo” e disperso foram relatadas nas situações de fadiga mental, enquanto nas situações controle os voluntários relataram uma maior facilidade de se manter concentrado e focado em cumprir o planejado.

Fadiga Mental: “A minha cabeça estava cansada. Não cheguei aqui assim, mas na hora que eu fui cair na água a cabeça estava pesada na verdade. Senti um peso mesmo. Estava meio aéreo, estava difícil de me concentrar, apesar de estar muito motivado para nadar a cabeça não estava boa não. Fisicamente estava bem, mas poderia ter ido melhor (trecho de entrevista – V5).”

“Subindo no bloco dessa vez eu estava mais cansado, com menos capacidade de concentrar e comparando com as outras vezes foi a pior vez que eu subi no bloco com certeza absoluta. Das outras vezes eu pensava em como fazer a prova, e dessa vez eu só pensei em cair na água e nadar (trecho de entrevista – V6).”

Controle: “Eu estava muito mais concentrado dessa vez do que da última (com FM). Isso consegui ter uma percepção sobre isso, dessa questão de concentração (trecho de entrevista – V1).”

“Eu percebi que hoje eu consegui me concentrar mais. Isso favoreceu fazer o nado mais limpo (trecho de entrevista – V10).”

*Motivação:* Com relação aos aspectos motivacionais, os mesmos tiveram uma maior quantidade de MU’s nas situações com a presença de fadiga mental. Contudo, esses relatos provenientes das situações mentalmente fatigantes reforçam que os voluntários foram capazes de se auto motivar ao longo da prova para evitar uma possível queda no desempenho físico.

Fadiga Mental: “Hoje eu acho que eu fiz o melhor que eu pude no dia de hoje pelo fato de estar mais cansado, tentei me concentrar mais pra tentar me motivar pra tentar dar o meu melhor e tentar melhorar o tempo das outras situações (trecho de entrevista – V9).”

“Hoje eu fiquei um pouco confuso antes de cair na água, de não saber o que fazer mesmo, mas durante o nado eu consegui me motivar e consegui fazer o que eu acho que tinha que ter feito hoje (trecho de entrevista – V4)”

Controle: “mantendo a motivação pensando que cada volta era a última, mantendo motivado, cada volta é a última volta e me mantendo motivado, dos 400 pros 600m eu reagi da forma que eu queria, não deu nenhum tipo de dor então eu consegui me manter focado e concentrado e nos últimos 200 e o famoso 105%, e dessa vez eu consegui dar esses 105% (trecho de entrevista – V6).”

*Foco de atenção:* Ao longo do nado, o foco de atenção também foi percebido de forma diferente entre as situações. Enquanto nas situações em que houve a presença da Fadiga Mental, os indivíduos relataram a tentativa de manutenção de um foco de atenção mais externo, ao longo das situações controle os voluntários relataram tanto aspectos relacionados ao foco de atenção interno quanto ao foco de atenção externo.

Fadiga Mental: “Acho que dentro da água o fato de nadar sozinho, sem adversário, requer muita atenção, você faz uma virada e as vezes esquece de um detalhe, a mente parece que fica vazia. Então imaginar um adversário na cabeça vai até pra se motivar mesmo. Até porque o cansaço mental parece que nos faz ficar meio disperso (trecho de entrevista – V5).”

Controle: “Durante a prova eu me preocupei em tentar identificar o ponto que a fadiga ia aparecer. Eu não sabia exatamente quando eu ia ficar mais cansado. (trecho de entrevista – V8).”

*Elementos Técnicos:* A questão da técnica de nado também foi relatada de forma divergente entre as situações. Enquanto nas situações com fadiga mental foram relatadas tentativas de correção e preocupação constante com possíveis erros técnicos cometidos ao longo da prova, nas situações controle o foco relacionado à técnica era voltado aos aspectos positivos (acertos) que eram mantidos.

Fadiga Mental: “Teve uma virada por exemplo que eu entrei muito perto da parede e eu não costumo errar virada. Ai depois dessa virada eu assustei e meio que dei uma acordada para tentar desenvolver a parte técnica. (Trecho de entrevista – V1).”

Controle: “me senti melhor percebendo os fundamentos do nado, braçada, respiração, contagem de braçada, distância e me senti mais confortável hoje. Nos últimos 100m foi fazer o máximo de esforço, mas sem deixar cair, sem perder a técnica de nado para fazer um tempo melhor (Trecho de entrevista – V10).”

*Elementos Táticos (Pacing):* A elaboração da estratégia de prova, assim como a execução dela ao longo do nado foram preocupações relatadas de forma contraditórias pelos voluntários ao longo das diferentes situações. Nas situações com fadiga mental muitos relataram a maior dificuldade em manter o ritmo ou a tentativa de alterar aquilo que havia sido previamente planejado. Já nas situações controle, aspectos positivos relacionados à estratégia de pacing, como a adequada regulação da intensidade, foram comumente relatados.

Fadiga Mental: “Acredito que tenha ido bem mal hoje, em função do desgaste mental. Durante a prova essa questão psicológica influencia muito na questão de lidar com as dores, lidar com o cansaço e conseguir

organizar melhor e manter a estratégia de prova, e como eu já comecei com esse cansaço mental creio que meu desempenho não tenha sido tão bom, apesar de ter feito muito esforço e tentado superar isso (trecho de entrevista – V7).”

Controle: “Eu procuro ficar com a cabeça sempre vazia, pra fazer uma boa prova. Penso em regular meu nível de esforço pra não começar muito forte e não cansar antes da hora pra conseguir fazer uma prova dividida. Passou um certo ritmo, uma projeção mental daquilo que queria fazer. Durante o início da prova passou pela minha cabeça que eu estava bem, que depois começou a vir o cansaço, que eu tentei controlar o tempo, falando pra mim o tempo todo que eu não estava cansado para que eu pudesse terminar bem a prova. Os últimos 100m eu pensei em apertar o ritmo porque tinha sobrado uma certa energia, mesmo estando bem cansado pra terminar bem a prova (Trecho de entrevista – V7).”

## **6.5 Discussão**

O presente estudo teve como objetivo avaliar a influência da fadiga mental, da estimulação cerebral e da associação de ambos nas respostas perceptivas e no desempenho físico de atletas masters de natação. Contrariando as nossas hipóteses, foi identificado que nem a fadiga mental (H1), nem a estimulação cerebral foram capazes de influenciar o desempenho físico dos atletas (H2), contudo, por meio de uma análise retrospectiva qualitativa das situações experimentais, os atletas relataram como a fadiga mental influenciou negativamente a capacidade de concentração, que por sua vez alterou respostas perceptivas em relação a técnica, tática e foco de atenção exercidos durante a prova.

### *6.5.1 Dados Quantitativos – Fadiga Mental*

Com relação ao protocolo de indução de fadiga mental utilizado no presente estudo, o mesmo parece ter sido eficaz para o alcance desse objetivo. Conforme descrito por Van Cutsem et al. 2017, a fadiga mental pode se manifestar de forma subjetiva (e.g., medida por meio de escalas), comportamental (e.g., mensurada por meio da medida do tempo de reação ou do desempenho em uma tarefa cognitiva) ou fisiológica (e.g., mensurada por

meio da redução da ativação cerebral). Coletivamente, os resultados demonstrados pelas escalas perceptivas (aumento na percepção de fadiga mental e aumento da Fadiga) e do desempenho ao longo do *Stroop Color Test* (que indicou uma maior quantidade de erros ao final do teste) indicam que os atletas, de fato, experimentaram algum nível de fadiga mental após o protocolo. Além disso, nenhuma possível alteração do desempenho físico subsequente pode ser creditada a alterações nos níveis motivacionais, já que em todas as situações os atletas iniciaram o nado com níveis reportados semelhantes de motivação.

Outro ponto a se destacar é que a estimulação cerebral não foi capaz de reduzir a percepção de fadiga mental, nem melhorar o desempenho cognitivo (situação FM+EST). O presente estudo estimulou o córtex temporal, associado ao gerenciamento da memória de longo prazo (Simons & Spiers, 2003). Apesar de essa demanda cognitiva não ser amplamente exigida pelo Stroop Color Test, esse mais relacionado ao córtex cingulado anterior (Laird et al., 2005), havia uma expectativa de que a ETCC apresentaria um efeito relativamente abrangente (Filmer, Dux, & Mattingley, 2014). No entanto, essa expectativa parece não se confirmar, ou a ação difusa da ETCC não é suficiente para induzir alterações comportamentais (mudanças no desempenho), pelo menos nas condições de exercício físico do presente estudo.

Com relação aos resultados do teste físico, a fadiga mental parece não ter influenciado negativamente nem o desempenho, nem o pacing e nem a percepção subjetiva do esforço dos atletas avaliados (figura 3-A e 3-B e 3-C). Por mais que a realização de uma tarefa cognitiva prévia tenha sido reportada como capaz de reduzir o desempenho físico (McMorris, Barwood, Hale, Dicks, & Corbett, 2018), no que diz respeito à população de atletas com elevado nível de desempenho e experiência competitiva esses dados podem ser conflitantes (Russell, Jenkins, Smith, Halson, & Kelly, 2019). Enquanto os estudos de (Clark et al., 2019; Martin, Staiano, Menasp, Hennessey, & Marcora, 2016) não demonstraram queda de desempenho em uma tarefa de tempo até a exaustão em atletas de ciclismo, em testes envolvendo atletas de futebol (Smith et al., 2016) e ciclismo (Salam, Marcora, & Hopker, 2018) observou-se queda de desempenho. Contudo, tem sido apontado que capacidades cognitivas

superiores observadas em atletas de elite, quando comparados a atletas amadores ou não atletas (Faubert, 2013), são fundamentais para que o efeito da fadiga mental seja menor (ou inexistente) nessa população específica. Além disso, um outro fator que pode ter um efeito moderador sobre a resistência à fadiga mental é a experiência em lidar com situações adversas. O estudo de (Penna, Filho, Wanner, et al., 2018) que empregou tarefa e população semelhante ao do presente estudo, mas com idade significativamente inferior, identificou que a fadiga mental foi capaz de influenciar negativamente o desempenho. Contudo, essa hipótese ainda carece de estudos experimentais que comprovem essa relação.

Com relação ao pacing, em que não foram identificados efeitos da fadiga mental sobre a regulação do desempenho, os resultados do presente estudo corroboram os achados envolvendo o efeito da fadiga mental em atividades com intensidade autorregulada (Pageaux, Lepers, Dietz, & Marcora, 2014; Pires et al., 2018). Mesmo nos estudos em que houve alteração de desempenho em situações de fadiga mental, não é comumente reportado que exista alteração no pacing em indivíduos mentalmente fadigados. Isso significa que mesmo quando o desempenho é alterado, ou seja, os atletas empregam uma menor velocidade de corrida ou nado, a forma com que esse trabalho é distribuído ao longo do tempo parece não ser afetado pela fadiga mental (Pageaux & Lepers, 2018). Portanto, o pacing parece ser um domínio cognitivo mais persistente, ou menos sujeito aos efeitos deletérios, mesmo em presença de um estado de fadiga mental.

Contrariando a nossa hipótese, a percepção subjetiva do esforço não foi alterada pelo protocolo de fadiga mental empregado. Isso significa que os atletas perceberam de forma semelhante o quão difícil e intenso a tarefa física foi realizada sob as diferentes condições experimentais. De fato, como o desempenho físico demonstrado pelos atletas foi semelhante entre as situações, não é de se esperar que variáveis fisiológicas que podem afetar PSE ao longo do exercício, como por exemplo a frequência respiratória (Nicolò, Marcora, & Sacchetti, 2016), afetassem de forma diferenciada a percepção do esforço ao longo das quatro situações experimentais. Além disso, o fato dos atletas não se dedicarem exclusivamente à carreira esportiva, ou seja,

conciliarem de forma crônica o estresse físico dos treinamentos com outros fatores potencialmente estressores (trabalho, família, trânsito, etc.) pode torná-los mais resistentes à fadiga mental e conseqüentemente aos prejuízos perceptivos relacionados a PSE (Martin et al., 2016).

#### *6.5.2 Dados Quantitativos – Estimulação Cerebral*

Com relação à estimulação cerebral, realizada por meio do ETCC, o fato dos atletas não apresentarem redução do desempenho após o protocolo de indução de fadiga mental (situação experimental FM+SHAM) limita a discussão dos dados a respeito da capacidade dessa técnica em anular os possíveis efeitos deletérios da fadiga mental no desempenho. Contudo, contrariando a nossa hipótese e não corroborando estudos anteriores (Okano et al., 2015; Vitor-Costa et al., 2015), a estimulação cerebral também não foi capaz de aumentar o desempenho físico (situação Cont+Est versus Cont+Sham) em atletas de natação em condição controle (ou seja, sem fadiga mental).

Com relação à área escolhida para a estimulação cerebral, o a atividade do Córtex Temporal é associado tanto ao controle autonômico cardíaco (Hilz, Devinsky, Doyle, Mauerer, & Dütsch, 2002; Okano et al., 2015), quanto à regulação emocional e a percepção do esforço (Williamson, McColl, Mathews, Ginsburg, & Mitchell, 2017). Logo, como não houve medida do controle autonômico cardíaco no presente estudo, pode-se especular que, caso a estimulação cerebral do Córtex Temporal tenha, de fato, modulado o controle autonômico cardíaco por meio de uma retirada vagal tardia, conforme demonstrado por Okano et al., (2015), essa modulação pode não ter sido suficiente para refletir um melhor desempenho em atletas de natação. Além disso, como a amostra do presente estudo era composta por atletas com longa experiência em atividade física regular (acima de 14 anos de treinamento regular), os mesmos podem apresentar a função otimizada da região do córtex temporal em função da prática crônica de exercício físico (Bugg & Head, 2011), anulando assim os possíveis efeitos benéficos do ETCC (efeito teto).

Outro resultado observado pela estimulação cerebral foi que aplicação da estimulação durante realização de teste prolongado não foi capaz de melhorar o desempenho cognitivo, já que o número de palavras e o número de erros não

foram diferentes entre as situações (FM+EST e FM+SHAM). Provavelmente, esse resultado reforça a importância da seletividade da área de estimulação, já que estudos envolvendo estímulos semelhantes em áreas diferentes como a área motora suplementar (Hsu et al., 2011) e o córtex pré-frontal dorso lateral (Loftus, Yalcin, Baughman, Vanman, & Hagger, 2015) identificaram melhorias de desempenho no controle inibitório (principal componente executivo estimulado pelo Stroop test). Logo, a estimulação do córtex temporal parece não participar de forma expressiva no desempenho cognitivo.

### *6.5.3 Dados Qualitativos – Fadiga Mental*

Por meio da análise das entrevistas semiestruturadas foi possível identificar de que forma a fadiga mental é percebida e como ela pode influenciar o desempenho dos voluntários. Foi identificado que a fadiga mental afeta a percepção subjetiva da capacidade de concentração dos atletas, e como consequência outras variáveis cognitivas (elementos táticos ligados ao pacing, e a direção do foco de atenção) e uma variável comportamental (elementos técnicos) também são afetados na presença da fadiga mental. Contudo, quando altamente motivados esse efeito deletério da fadiga mental pode ser superado (figura 4).

Nas situações em que houve a presença da fadiga mental, os voluntários relataram de forma marcante que tiveram dificuldade de se concentrar na tarefa ou em variáveis relacionadas à tarefa; fato não relatado nas situações controle. De fato, essa relação entre aumento da demanda cognitiva e uma maior dificuldade em alocar recursos atencionais foi demonstrada de forma experimental (Jaquess et al., 2017). De forma semelhante, foi demonstrado que a fadiga mental também foi capaz de reduzir a capacidade atencional, principalmente por meio da reduzida capacidade de suprimir informações irrelevantes à tarefa (Faber, Maurits, & Lorist, 2012). Considerando que a PSE é apontada como a principal variável influenciada pela fadiga mental que impacta o desempenho físico, e que aspectos atencionais são capazes de influenciá-la (Hutchinson & Tenenbaum, 2007; Stanley, Pargman, & Tenenbaum, 2007; Tenenbaum & Connolly, 2008), é provável que esses

aspectos atencionais sejam responsáveis pelo aumento da PSE em condições idênticas de exercício sob fadiga mental.

Além do impacto negativo em domínios relacionados à concentração, nas condições em que houve fadiga mental, os voluntários reportaram que aspectos relacionados à técnica do nado foram percebidos de forma mais negativa do que nas situações controle. Apesar de estudos anteriores terem identificado que atletas mentalmente fadigados de fato apresentam uma queda de desempenho técnico específico (Badin, Smith, Conte, & Coutts, 2016; Moreira et al., 2018; Smith et al., 2016), os resultados do presente estudo sugerem que tal queda de desempenho técnico possa ocorrer devido à queda da capacidade de concentração, principalmente em aspectos ligados à percepção e planejamento da ação técnica.

Além disso, apesar dos dados quantitativos demonstrarem que os atletas mantiveram a mesma estratégia de prova ao longo das quatro situações experimentais (figura 3-B), a análise das entrevistas demonstrou que ao longo das situações com fadiga mental a manutenção da estratégia programa não foi cumprida da forma planejada ou os atletas tiveram uma maior dificuldade em manter aquilo que foi programado ao longo da prova. Por mais que o pacing venha sendo caracterizado como um fenômeno complexo e qualquer tentativa simplista de análise baseada em poucas variáveis possa não representar de forma precisa a sua resposta (Renfree & Casado, 2018), coletivamente os resultados (qualitativos e quantitativos) podem ser relacionar-se com o modelo metacognitivo proposto por (Brick, MacIntyre, & Campbell, 2015). Segundo esse modelo, a regulação do desempenho se dá pela interação de dois processos distintos: habilidades metacognitivas (planejamento pré-prova, monitoramento ao longo da prova e julgamento pós-prova) e experiências metacognitivas (basicamente baseadas em sentimentos como sensação de dificuldade, estimativas sobre uma determinada estratégia cognitiva, etc). Ou seja, baseado nas entrevistas dos atletas pode-se perceber que a partir do momento que o indivíduo percebe que a estratégia selecionada antes da prova (habilidades metacognitivas) não será eficiente ou não será capaz de ser mantida, seja pelo cansaço físico ou pelo cansaço mental, ele ajusta para uma nova estratégia ou utiliza-se de outras estratégias cognitivas (parar de contar

braçadas, imaginar um adversário, etc.) para manter o planejamento inicial (experiências metacognitivas).

Com relação à direção do foco de atenção, os resultados demonstraram que nas situações em que houve a presença de fadiga mental, os atletas relataram predominantemente uma tentativa de externalização do foco de atenção. De fato, sabe-se que a manutenção de cada tipo de foco de atenção (interno ou externo) ao longo do exercício está relacionada com diferentes respostas (Brick, Campbell, Sheehan, Fitzpatrick, & MacIntyre, 2018). Contudo, a tentativa relatada de externalização do foco de atenção ao longo das situações em que houve fadiga mental pode refletir uma estratégia relacionada à experiência metacognitiva de redução da percepção de dificuldade, já que a manutenção de um foco de atenção externo está relacionada com uma redução da PSE ao longo do exercício (Stanley et al., 2007). Além disso, como a amostra do presente estudo é composta por atletas masters, com elevado tempo de engajamento em treinamentos e competições, o emprego efetivo de estratégias metacognitivas é esperado, quanto que em pessoas iniciantes ou praticantes recreacionais o emprego desse tipo de estratégia não é marcante (Brick et al., 2018).

Por fim, como último componente do modelo proposto a partir dos dados que emergiram da análise qualitativa (figura 4), a motivação parece ser a variável que modera o efeito deletério da fadiga mental no desempenho físico. Por meio das entrevistas, foi possível perceber que quando mentalmente fadigados, os atletas buscam estratégias de automotivação, que se alocadas de maneira efetivas são suficientes para a manutenção de um desempenho funcional sob condições internas adversas. Essa relação foi demonstrada experimentalmente em estudos anteriores (Barte, Nieuwenhuys, Geurts, & Kompier, 2018). Foi observado que a manipulação que foi capaz de aumentar a motivação para uma tarefa subsequente foi eficaz em anular os efeitos deletérios da fadiga, seja ela mental ou física. Portanto, baseado nas respostas dos atletas, (que apresentam elevada experiência e bom nível competitivo) e coletivamente com os resultados supracitados, pode-se inferir que estratégias que envolvam aspectos da motivação para o desempenho podem apresentar um papel moderador do efeito deletério da fadiga mental no desempenho físico.

Podem ser apontadas como limitações do presente estudo o fato dos atletas não serem especialistas na prova específica da empregada. Além disso, o fato deles estarem em final de temporada competitiva e já com um ritmo de treino menor também podem ter influenciado os resultados quantitativos. Como perspectivas futuras, indica-se a comparação entre indivíduos com tempo de prática e experiência competitiva diferentes, para uma possível delimitação da influência do efeito tanto da fadiga mental quanto da estimulação transcraniana no desempenho físico aeróbio.

## **6.6 Conclusão**

Em síntese, conclui-se que a fadiga mental não foi capaz de prejudicar o desempenho de atletas masters de natação. Além disso, o protocolo de estimulação cerebral do Córtex Temporal também não foi suficiente para melhorar o desempenho dessa população. Contudo, após o teste físico sob condição de fadiga mental, os atletas relataram que quando mentalmente fadigados eles tiveram dificuldades no que diz respeito à concentração, que impactou diretamente em outras variáveis, como na direção do foco de atenção, nas estratégias de pacing, e em elementos técnicos. Contudo, o papel moderador que a motivação tem na relação entre fadiga mental e desempenho físico parece ser determinante para a não observação dos efeitos deletérios da fadiga mental em atletas masters de natação.

## **6.7 Referências**

- Angius, L., Pageaux, B., Hopker, J., Marcora, S. M., & Mauger, A. R. (2016). Transcranial direct current stimulation improves isometric time to exhaustion of the knee extensors. *Neuroscience*, *339*, 363–375. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.10.028>
- Azevedo, R., Silva-Cavalcante, M. D., Gualano, B., Lima-Silva, A. E., & Bertuzzi, R. (2016). Effects of caffeine ingestion on endurance performance in mentally fatigued individuals. *European Journal of Applied Physiology*, *116*(11–12), 2293–2303. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3483-y>
- Badin, O., Smith, M. R., Conte, D., & Coutts, A. J. (2016). Mental Fatigue Impairs Technical Performance in Small-Sided Soccer Games. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *11*(8), 1100–1105.
- Barte, J. C. M., Nieuwenhuys, A., Geurts, S. A. E., & Kompier, M. A. J. (2018). Motivation counteracts fatigue-induced performance decrements in soccer passing performance. *Journal of Sports Sciences*, *00*(00), 1–8.

<https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1548919>

- Boksem, M. A. S., Meijman, T. F., & Lorist, M. M. (2006). Mental fatigue, motivation and action monitoring. *Biological Psychology*, *72*(2), 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.08.007>
- Brick, N. E., Campbell, M. J., Sheehan, R. B., Fitzpatrick, B. L., & MacIntyre, T. E. (2018). Metacognitive processes and attentional focus in recreational endurance runners. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, *0*(0), 1–18. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2018.1519841>
- Brick, N., MacIntyre, T., & Campbell, M. (2015). Metacognitive processes in the self-regulation of performance in elite endurance runners. *Psychology of Sport and Exercise*, *19*(February), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2015.02.003>
- Bugg, J. M., & Head, D. (2011). Exercise moderates age-related atrophy of the medial temporal lobe. *Neurobiology of Aging*, *32*(3), 506–514. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2009.03.008>
- Campos, H. O., Drummond, L. R., Rodrigues, Q. T., Machado, F. S. M., Pires, W., Wanner, S. P., & Coimbra, C. C. (2018). Nitrate supplementation improves physical performance specifically in non-athletes during prolonged open-ended tests: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Nutrition*, *119*(6), 636–657. <https://doi.org/10.1017/S0007114518000132>
- Clark, I. E., Goulding, R. P., DiMenna, F. J., Bailey, S. J., Jones, M. I., Fulford, J., ... Vanhatalo, A. (2019). Time-trial performance is not impaired in either competitive athletes or untrained individuals following a prolonged cognitive task. *European Journal of Applied Physiology*, *119*(1), 149–161. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-4009-6>
- Cohen, J. (1977). F Tests on Means in the Analysis of Variance and Covariance. In *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (p. 273–406). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-179060-8.50013-X>
- Colzato, L. S., Nitsche, M. A., & Kibele, A. (2016). Noninvasive Brain Stimulation and Neural Entrainment Enhance Athletic Performance—a Review. *Journal of Cognitive Enhancement*, *1*(1), 73–79. <https://doi.org/10.1007/s41465-016-0003-2>
- Cutsem, J. Van, Marcora, S., Pauw, K. De, Bailey, S., Meeusen, R., & Roelands, B. (2017). The Effects of Mental Fatigue on Physical Performance : A Systematic Review. *Sports Medicine*, *47*(8), 1569–1588. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0672-0>
- Elo, S., & Kyngäs, H. (2008). The qualitative content analysis process. *Journal of Advanced Nursing*, *62*(1), 107–115. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2007.04569.x>
- Faber, L. G., Maurits, N. M., & Lorist, M. M. (2012). Mental Fatigue Affects Visual Selective Attention. *PLoS ONE*, *7*(10), 1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048073>

- Faubert, J. (2013). Professional athletes have extraordinary skills for rapidly learning complex and neutral dynamic visual scenes. *Scientific Reports*, *3*, 22–24. <https://doi.org/10.1038/srep01154>
- Filmer, H. L., Dux, P. E., & Mattingley, J. B. (2014). Applications of transcranial direct current stimulation for understanding brain function. *Trends in Neurosciences*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2014.08.003>
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., ... Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *15*(1), 109–115.
- Franco-Alvarenga, P. E., Brietzke, C., Canestri, R., Goethel, M. F., Hettinga, F., Santos, T. M., & Pires, F. O. (2019). Caffeine improved cycling trial performance in mentally fatigued cyclists, regardless of alterations in prefrontal cortex activation. *Physiology and Behavior*, *204*, 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2019.02.009>
- Gazerani, P. (2017). Performance enhancement by brain stimulation. *Journal of Sports Science and Medicine*, *16*(3), 438–439.
- Gustafsson, H., Hassmén, P., Kenttä, G., & Johansson, M. (2008). A qualitative analysis of burnout in elite Swedish athletes. *Psychology of Sport and Exercise*, *9*(6), 800–816. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2007.11.004>
- Hilz, M. J., Devinsky, O., Doyle, W., Mauerer, A., & Dütsch, M. (2002). Decrease of sympathetic cardiovascular modulation after temporal lobe epilepsy surgery. *Brain*, *125*, 985–995.
- Holgado, D., Vadillo, M. A., & Sanabria, D. (2019). The effects of transcranial direct current stimulation on objective and subjective indexes of exercise performance: A systematic review and meta-analysis. *Brain Stimulation*, *12*(2), 242–250. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2018.12.002>
- Hsieh, H.-F., & Shannon, S. E. (2005). Three approaches to qualitative content analysis. *Qualitative health research*, *15*(9), 1277–1288. <https://doi.org/10.1177/1049732305276687>
- Hsu, T. Y., Tseng, L. Y., Yu, J. X., Kuo, W. J., Hung, D. L., Tzeng, O. J. L., ... Juan, C. H. (2011). Modulating inhibitory control with direct current stimulation of the superior medial frontal cortex. *NeuroImage*, *56*(4), 2249–2257. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.03.059>
- Hutchinson, J. C., & Tenenbaum, G. (2007). Attention focus during physical effort: The mediating role of task intensity. *Psychology of Sport and Exercise*, *8*(2), 233–245. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2006.03.006>
- Jaquess, K. J., Gentili, R. J., Lo, L. C., Oh, H., Zhang, J., Rietschel, J. C., ... Hatfield, B. D. (2017). Empirical evidence for the relationship between cognitive workload and attentional reserve. *International Journal of Psychophysiology*, *121*(September), 46–55. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2017.09.007>
- Laird, A. R., McMillan, K. M., Lancaster, J. L., Kochunov, P., Turkeltaub, P. E., Pardo, J. V., & Fox, P. T. (2005). A comparison of label-based review and

- ALE meta-analysis in the stroop task. In *Human Brain Mapping* (Vol. 25, p. 6–21). <https://doi.org/10.1002/hbm.20129>
- Lattari, E., Andrade, M. L., Filho, A. S., Moura, A. M., Neto, G. M., Silva, J. G., ... Machado, S. (2016). Can transcranial direct current stimulation improve the resistance strength and decrease the rating perceived scale in recreational weight-training experience? *Journal of Strength and Conditioning Research*, *30*(12), 3381–3387. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001457>
- Loftus, A. M., Yalcin, O., Baughman, F. D., Vanman, E. J., & Hagger, M. S. (2015). The impact of transcranial direct current stimulation on inhibitory control in young adults. *Brain and Behavior*, *5*(5), 1–9. <https://doi.org/10.1002/brb3.332>
- Marcora, S. M., Staiano, W., & Manning, V. (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md. : 1985), *106*(3), 857–864. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.91324.2008>
- Martin, K., Meeusen, R., Thompson, K. G., Keegan, R., & Rattray, B. (2018). Mental Fatigue Impairs Endurance Performance: A Physiological Explanation. *Sports Medicine*, *48*(9), 2041–2051. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0946-9>
- Martin, K., Staiano, W., Menasp, P., Hennessey, T., & Marcora, S. (2016). Superior Inhibitory Control and Resistance to Mental Fatigue in Professional Road Cyclists. *PLoS ONE*, *11*(7), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159907>
- McMorris, T., Barwood, M., Hale, B. J., Dicks, M., & Corbett, J. (2018). Cognitive fatigue effects on physical performance: A systematic review and meta-analysis. *Physiology and Behavior*, *188*(January), 103–107. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.01.029>
- Meeusen, R., Marcora, S., Roelands, B., De Pauw, K., & Van Cutsem, J. (2017). A caffeine-maltodextrin mouth rinse counters mental fatigue. *Psychopharmacology*, *235*(4), 947–958. <https://doi.org/10.1007/s00213-017-4809-0>
- Mielgo-Ayuso, J., Calleja-Gonzalez, J., Marqués-Jiménez, D., Caballero-García, A., Córdova, A., & Fernández-Lázaro, D. (2019). Effects of Creatine Supplementation on Athletic Performance in Soccer Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*, *11*(4), 757. <https://doi.org/10.3390/nu11040757>
- Moreira, A., Saldanha, M., Franchini, E., Gomes, D., Carolina, A., & Hideki, A. (2018). Mental fatigue impairs technical performance and alters neuroendocrine and autonomic responses in elite young basketball players. *Physiology & Behavior*, *196*(January), 112–118. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.08.015>
- Nicolò, A., Marcora, S. M., & Sacchetti, M. (2016). Respiratory frequency is strongly associated with perceived exertion during time trials of different

- duration. *Journal of Sports Sciences*, 34(13), 1199–1206.  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1102315>
- Okano, A. H., Fontes, E. B., Montenegro, R. A., De Tarso Veras Farinatti, P., Cyrino, E. S., Li, L. M., ... Noakes, T. D. (2015). Brain stimulation modulates the autonomic nervous system, rating of perceived exertion and performance during maximal exercise. *British Journal of Sports Medicine*, 49(18), 1213–1218. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091658>
- Pageaux, B., & Lepers, R. (2018). *The effects of mental fatigue on sport-related performance*. *Progress in Brain Research* (1<sup>o</sup> ed, Vol. 240). Elsevier B.V.  
<https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2018.10.004>
- Pageaux, B., Lepers, R., Dietz, K. C., & Marcora, S. M. (2014). Response inhibition impairs subsequent self-paced endurance performance. *European Journal of Applied Physiology*, 114(5), 1095–1105.  
<https://doi.org/10.1007/s00421-014-2838-5>
- Penna, E. M., Filho, E., Campos, B. T., Pires, D. A., Nakamura, F. Y., Mendes, T. T., ... Prado, L. S. (2018). Mental fatigue does not affect heart rate recovery but impairs performance in handball players. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 24(5), 347–351. <https://doi.org/10.1590/1517-869220182405180483>
- Penna, E. M., Filho, E., Wanner, S. P., Campos, B. T., Quinan, G. R., Mendes, T. T., ... Prado, L. S. (2018). Mental Fatigue Impairs Physical Performance in Young Swimmers. *Pediatric Exercise Science*, 30(2), 208–215.  
<https://doi.org/10.1123/pes.2017-0128>
- Pires, F. O., Silva-Júnior, F. L., Brietzke, C., Franco-Alvarenga, P. E., Pinheiro, F. A., de França, N. M., ... Santos, T. M. (2018). Mental fatigue alters cortical activation and psychological responses, impairing performance in a distance-based cycling trial. *Frontiers in Physiology*, 9(MAR), 1–9.  
<https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00227>
- Renfree, A., & Casado, A. (2018). Athletic races represent complex systems, and pacing behavior should be viewed as an emergent phenomenon. *Frontiers in Physiology*, 9(OCT), 1–6.  
<https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01432>
- Russell, S., Jenkins, D., Smith, M., Halson, S., & Kelly, V. (2019). The application of mental fatigue research to elite team sport performance: New perspectives. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 8–13.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.12.008>
- Salam, H., Marcora, S. M., & Hopker, J. G. (2018). The effect of mental fatigue on critical power during cycling exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 118(1), 85–92. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3747-1>
- Schiphof-Godart, L., Roelands, B., & Hettinga, F. J. (2018). Drive in sports: How mental fatigue affects endurance performance. *Frontiers in Psychology*, 9(AUG), 1–7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01383>
- Simons, J. S., & Spiers, H. J. (2003). Prefrontal and medial temporal lobe interactions in long-term memory. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(8),

637–648. <https://doi.org/10.1038/nrn1178>

- Smith, M. R., Coutts, A. J., Merlini, M., Deprez, D., Lenoir, M., & Marcora, S. M. (2016). Mental fatigue impairs soccer-specific physical and technical performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *48*(2), 267–276. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000762>
- Staiano, W., Bosio, A., Piazza, G., Romagnoli, M., Luigi, P., Staiano, W., ... Invernizzi, P. L. (2018). Kayaking performance is altered in mentally fatigued young elite athletes. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, *1*(1). <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.18.09051-5>
- Stanley, C. T., Pargman, D., & Tenenbaum, G. (2007). The effect of attentional coping strategies on perceived exertion in a cycling task. *Journal of Applied Sport Psychology*, *19*(3), 352–363. <https://doi.org/10.1080/10413200701345403>
- Tenenbaum, G., & Connolly, C. T. (2008). Attention allocation under varied workload and effort perception in rowers. *Psychology of Sport and Exercise*, *9*(5), 704–717. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2007.09.002>
- Valenzuela, P. L., Amo, C., Sánchez-Martínez, G., Torrontegi, E., Vázquez-Carrión, J., Montalvo, Z., ... Villa, P. de la. (2018). Transcranial direct current stimulation enhances mood but not performance in elite athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0473>
- Vitor-Costa, M., Okuno, N. M., Bortolotti, H., Bertollo, M., Boggio, P. S., Fregni, F., & Altimari, L. R. (2015). Improving Cycling Performance: Transcranial Direct Current Stimulation Increases Time to Exhaustion in Cycling. *PLOS ONE*, *10*(12), e0144916. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144916>
- Williamson, J. W., McColl, R., Mathews, D., Ginsburg, M., & Mitchell, J. H. (2017). Activation of the insular cortex is affected by the intensity of exercise. *Journal of Applied Physiology*, *87*(3), 1213–1219. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.87.3.1213>

## **7 ESTUDO 3- Efeito da fadiga mental e da estimulação em diferentes áreas cerebrais sobre o desempenho físico e medidas psicofisiológicas de indivíduos não treinados.**

### **7.1 Resumo**

A fadiga mental (FM) é um estado psicobiológico causado por períodos prolongados de esforço cognitivo, e tem sido observado que esse estado é capaz de reduzir o desempenho físico aeróbio subsequente, principalmente em atletas recreacionais e em pessoas fisicamente ativas. Essa queda de desempenho se dá principalmente por meio da alteração de medidas perceptivas. A estimulação cerebral tem sido apontada como um recurso ergogênico capaz de melhorar o desempenho físico agudo, com impactos positivos também em medidas perceptivas. Contudo, se ela é capaz de reverter o efeito deletério da FM em indivíduos não treinados, assim como melhorar o seu desempenho físico e medidas perceptivas ainda carecem de maiores investigações. Objetivou-se avaliar 1) se a fadiga mental reduz o desempenho de indivíduos destreinados, 2) se a estimulação cerebral de diferentes áreas é capaz de anular esse efeito deletério e melhorar o desempenho sem a presença da FM e 3) se tanto a FM quanto a estimulação cerebral são capazes de alterar as medidas perceptivas ao longo de um exercício aeróbio prolongado. Método: Dez estudantes universitários ( $23.79 \pm 2.75$  anos,  $78.76 \pm 5.54$  kg,  $vo^2_{m\acute{a}x} 35.38 \pm 3.06$  ml.  $kg^{-1}$ .  $min^{-1}$ ) participaram do delineamento experimental 1 (estimulação cerebral do PFC). Outros dez estudantes universitários ( $26.26 \pm 5.05$  anos,  $78.14 \pm 6.41$  kg,  $vo^2_{m\acute{a}x} 36.38 \pm 2.89$  ml.  $kg^{-1}$ .  $min^{-1}$ ) participaram do delineamento experimental 2 (estimulação cerebral do M1). Ambos os delineamentos experimentais foram compostos por 4 situações experimentais. Nas sessões experimentais, os voluntários eram requisitados a pedalar a distância de 20km em ciclo ergômetro após serem expostos a: 1) protocolo de indução de fadiga mental com a presença da estimulação cerebral (FM+EST), 2) protocolo de indução de fadiga mental sem a presença da estimulação cerebral (FM+SHAM), 3) situação controle sem a presença de indução de fadiga mental com a presença da estimulação cerebral (CONT+EST) e 4) situação controle sem a presença de indução de fadiga mental sem a presença da estimulação cerebral (CONT+SHAM). Resultados:

Não foram identificadas redução do desempenho após as situações em que houve indução de fadiga mental, e a estimulação cerebral não melhorou o desempenho quando os indivíduos não estavam mentalmente fadigados. Além disso, nem a fadiga mental, nem a estimulação cerebral foi capaz de alterar as medidas perceptivas ao longo do exercício. Conclusão: A fadiga mental não reduz o desempenho de indivíduos não treinados, assim como a estimulação cerebral de diferentes substratos neurais também não é capaz de melhorar o desempenho nessa população. Além disso, nenhuma das manipulações experimentais foram capazes de alterar as medidas perceptivas ao longo do desempenho.

**Palavras Chave:** Fadiga Mental, Ciclismo, ETCC, Córtex Pré-Frontal, Córtex Motor Primário.

## **7.2 Introdução**

A fadiga mental (FM) é definida como um estado psicobiológico causado por períodos prolongados de elevada demanda cognitiva (Russell, Jenkins, Rynne, Halson, & Kelly, 2019), e seus efeitos sobre desempenho físico em atletas e indivíduos fisicamente ativos, particularmente em atividades de duração prolongada, têm sido consistentemente demonstrados (Cutsem et al., 2017; McMorris, Barwood, Hale, Dicks, & Corbett, 2018). Contudo, os estudos referentes aos efeitos psicobiológicos da fadiga mental em indivíduos não treinados, seja no desempenho ou em aspectos relacionados à aderência à programas de atividades físicas ainda são escassos.

Os mecanismos que estão envolvidos no possível efeito deletério da FM sobre desempenho aeróbico ainda não são totalmente conhecidos, já que alterações fisiológicas tendem a não ser observadas em condições de FM quando comparadas às condições controle (Marcora, Staiano, & Manning, 2009). Em contrapartida, as alterações perceptivas são proeminentes quando os indivíduos são previamente submetidos à FM, principalmente relacionadas a percepção subjetiva do esforço (PSE) mais elevada (Schiphof-Godart, Roelands, & Hettinga, 2018).

Ainda no que diz respeito às variáveis perceptivas, a FM está relacionada com prejuízos no controle inibitório e alteração da alocação de recursos atencionais (Boksem, Meijman, & Lorist, 2005; Boksem & Tops, 2008). Portanto, indivíduos mentalmente fadigados podem apresentar maior percepção de estímulos internos negativos, relacionados ao desenvolvimento da fadiga (foco de atenção interno) quando comparadas as situações em que não haja FM, sendo que essa percepção mais direcionada internamente já é proeminente em indivíduos não treinados (Whitehead et al., 2018). Outro ponto relevante diz respeito aos aspectos afetivos ao longo do exercício, que ganha importância em se tratando de indivíduos não treinados, já que respostas afetivas positivas durante a prática de atividade física estão relacionadas com uma maior aderência a sua prática regular (Rhodes & Kates, 2015; Williams et al., 2008). Contudo, se a FM é capaz de alterar a resposta afetiva ao longo do exercício ainda é desconhecido.

Para neutralizar os efeitos deletérios das diferentes manifestações da fadiga, diferentes estratégias têm sido propostas, e dentre elas destaca-se a estimulação cerebral por meio da Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC). Essa técnica caracteriza-se pela aplicação de uma fraca corrente elétrica aplicada sobre o couro cabeludo, que tem se mostrado capaz de alterar a excitabilidade neuronal por períodos prolongados (Colzato, Nitsche, & Kibele, 2016). Com isso, dentro do contexto do exercício físico, a estimulação cerebral parece ser capaz de melhorar o desempenho, dentre outros mecanismos, por meio da redução da PSE (Okano et al., 2015).

A aplicação da ETCC pode ser feita em diferentes áreas da superfície cortical. Visando a melhora do desempenho físico geral, a maioria dos estudos tem escolhido utilizar a estimulação anódica sobre o Córtex Motor Primário (M1). Sabe-se que essa região é primariamente responsável pela execução do movimento voluntário e pela produção de força ao longo de um exercício físico (Brümmer, Schneider, Strüder, & Askew, 2011), estando sua ativação diretamente associada à PSE (de Morree, Klein, & Marcora, 2012). Portanto, a estimulação cerebral dessa área estaria ligada a um maior *input* para a musculatura ativa, ou seja, facilitando o drive neural, que seria suficiente para

reduzir a PSE (Angius, Pageaux, Hopker, Marcora, & Mauger, 2016) e, concomitantemente, melhorar respostas afetivas ao longo do exercício.

Contudo, um outro substrato neural que emerge como importante nesse processo de regulação ao longo do exercício físico é o Córtex Pré-Frontal (PFC). Tem sido proposto que essa região é responsável por integrar os sinais aferentes, permitindo a atenuação do recrutamento de unidades motoras ou, em algumas situações, ignorar esses sinais e prolongar o *input* motor (Robertson & Marino, 2015). Além disso, têm sido demonstrado que a ativação dessa região é alterada na presença de fadiga mental em ciclistas recreativos (Pires et al., 2018) e em indivíduos fisicamente ativos (Brownsberger, Edwards, Crowther, & Cottrell, 2013), e diferentes padrões de ativação dessa região têm sido associados a diferentes respostas afetivas durante o exercício (Tempest, Eston, & Parfitt, 2014). Logo, o papel que essa região apresenta em modular o desempenho físico em condições normais e na presença de fadiga mental, assim como as respostas perceptivas em indivíduos não treinados ao longo do exercício, permanece desconhecido.

Portanto, apesar do papel que os diferentes substratos neurais apresentam na regulação do exercício estarem estabelecidos, a forma com que eles podem influenciar o desempenho físico e a resposta perceptiva ao longo do exercício em indivíduos não treinados, e sob fadiga mental, carece de maiores informações. Logo, o objetivo do presente estudo é verificar a influência da fadiga mental, da estimulação cerebral (tanto do M1 como do PFC) e da associação de ambos no desempenho aeróbico prolongado e nas respostas perceptivas (PSE, foco de atenção e afetividade) ao longo do exercício em indivíduos não treinados. Hipotetiza-se que a fadiga mental irá reduzir o desempenho aeróbico e prejudicar as respostas perceptivas (H1). De maneira oposta, a estimulação cerebral do M1 e do PFC irá anular o efeito deletério da fadiga mental e melhorar o desempenho físico e as respostas perceptivas ao longo do exercício quando na ausência de fadiga mental (H2).

### **7.3 Método**

#### *7.3.1 Amostra*

O cálculo amostral foi realizado baseado em dados do estudo piloto, e empregando a equação proposta anteriormente (Hopkins, 2000) ( $n = 8e^2/d^2$ , em que  $e$  representa o coeficiente de variação observado de 2,2%, e  $d$  representa a magnitude esperada, que no caso do estudo foi de 2%), que apontou um total de aproximadamente 10 participantes. Logo, participaram do delineamento experimental 1 (PFC) dez estudantes universitários do sexo masculino com idade de  $23.7 \pm 2.7$  anos, massa corporal de  $78.76 \pm 5.54$  kg, e consumo máximo de oxigênio estimado de  $35.38 \pm 3.06$  ml.  $\text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ . Participaram do delineamento experimental 2 (M1), outros dez estudantes universitários do sexo masculino com idade de  $26.26 \pm 5.05$  anos, massa corporal de  $78.14 \pm 6.41$  kg, e consumo máximo de oxigênio estimado de  $36.38 \pm 2.89$  ml.  $\text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ . De acordo com a classificação proposta previamente (Pauw, Roelands, Geus, & Meeusen, 2013), que leva em consideração o consumo máximo de oxigênio estimado e a potência máxima alcançada no teste progressivo, todos os voluntários foram classificados como não treinados. O estudo foi aprovado pelo comitê de ética em pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (sob número de protocolo 69475417.7.0000.5149).

#### *7.3.2 Delineamentos experimentais*

Ambos os delineamentos experimentais foram compostos por 4 situações experimentais precedidas de uma sessão voltada para caracterização da amostra e familiarização aos procedimentos. Nas sessões experimentais, os voluntários eram requisitados a pedalar a distância de 20km em ciclo ergômetro após serem expostos, aleatoriamente<sup>1</sup> às seguintes manipulações: 1) protocolo de indução de fadiga mental com a presença da estimulação cerebral (FM+EST), 2) protocolo de indução de fadiga mental sem a presença da estimulação cerebral (FM+SHAM), 3) situação controle sem a presença de indução de fadiga mental com a presença da estimulação cerebral (CONT+EST) e 4) situação controle sem a presença de indução de fadiga mental sem a presença da estimulação cerebral (CONT+SHAM). No delineamento experimental 1 foi estimulada a área referente ao Córtex Pré-

Frontal (PFC). No delineamento experimental 2 foi estimulada a área referente ao Córtex Motor Primário (M1).

A primeira situação experimental era voltada para familiarização aos procedimentos experimentais que seriam aplicadas ao longo das 4 situações subsequentes e eram feitas as medidas de caracterização da amostra. Primeiramente os voluntários assinavam o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Após a assinatura, eram apresentadas as escalas perceptivas que seriam utilizadas ao longo da atividade física. Após esse procedimento era feita a pesagem do voluntário e as medidas de ajuste do indivíduo na bicicleta eram registradas. Imediatamente após era realizado o teste progressivo adaptado de Balke e Ware (1959) para determinação da potência máxima e do cálculo estimado do consumo máximo de oxigênio (obtido pela equação:  $VO_2^{m\acute{a}x} = (200 + 12 \times \text{pot\^e}n\text{c}i\grave{a} \text{ m\acute{a}x}) / \text{massa corporal}$ ). Após um período de recuperação de 30 minutos era solicitado ao indivíduo que pediasse os 20km com a finalidade de familiarização à distância e às escalas que eram coletadas ao longo do teste.

Antes do início de cada situação, eram explicados ao voluntário todos os procedimentos que seriam realizados no dia e era solicitado que eles ingerissem 500mL de água para evitar qualquer tipo de influência do estado de hidratação no desempenho físico e cognitivo. Imediatamente após, os voluntários eram conduzidos à sala de coleta de dados, onde preenchiam as escalas perceptivas de fadiga mental (EVA) pré tratamento de indução de fadiga mental ou situação controle). Ao término, era realizada a montagem do aparelho de estimulação cerebral (ETCC). Imediatamente após a montagem, era realizado o tratamento de indução de fadiga mental ou a situação controle. Após esse período, os voluntários preenchiam as escalas perceptivas pós protocolo (alteração da percepção de fadiga mental e motivação para o teste físico subsequente). Imediatamente após o preenchimento das escalas, o voluntário era posicionado na bicicleta que já estava ajustada de acordo com a preferência do voluntário para início do teste físico (20km de ciclismo de forma autorregulada). Ao longo do teste, em uma tela de computador posicionada à frente do voluntário, era fornecido apenas o feedback da distância a cada quilômetro percorrido. A cada 2 quilômetros eram registrados o tempo de

exercício, a frequência cardíaca, a potência desenvolvida, a percepção subjetiva do esforço (PSE), a escala de foco de atenção e a escala de afetividade (*feelingscale*). Um resumo do design experimental é apresentado na figura 1.

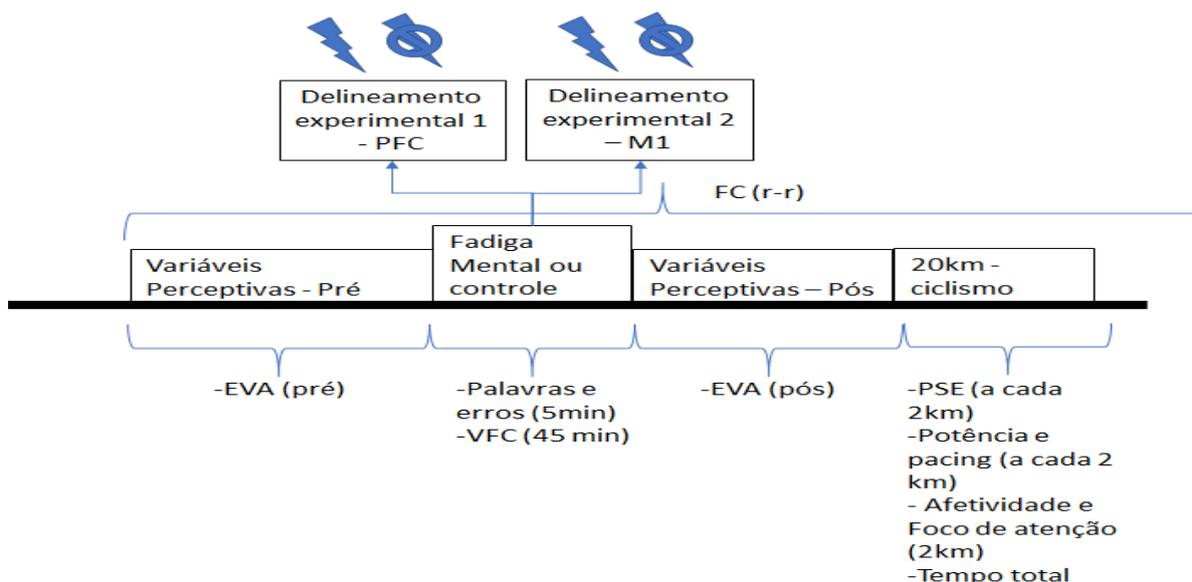


Figura 1. Delineamento experimental

### 7.3.3 Instrumentos - Protocolo de Indução de Fadiga Mental

Para indução do estado de Fadiga mental foi empregada a versão de papel do Stroop Color Test. O emprego dessa versão já se mostrou efetiva para indução de fadiga mental no contexto esportivo (Penna et al., 2018; Smith et al., 2016). O teste, que teve a duração de 45 minutos, consiste na apresentação de palavras (verde, vermelho, azul e amarelo) que estavam coloridas nas cores verde, vermelha, azul e amarela. Os indivíduos deveriam verbalizar qual era a cor que a palavra estava colorida, e não a palavra que estava escrita. Por exemplo, quando as palavras estivessem coloridas na cor vermelha, o voluntário deveria ler a palavra que estava escrita e não verbalizar a cor da palavra.

#### *7.3.4 Controle o Estado induzido de Fadiga Mental - Escala Visual Análoga – EVA*

Para o controle da indução da fadiga mental foi empregada uma escala visual análoga de 100mm, ancorada pelas expressões “de forma alguma” e “máximo”. Foram analisadas as variáveis: Percepção de Fadiga Mental (pré e pós tratamento) e Motivação para o teste físico subsequente (pós). Para análise da EVA, foi mensurada com uma régua a distância entre o ponto inicial e a marcação feita pelo voluntário, e os valores são reportados como unidades arbitrárias (u.a.).

#### *7.3.5 Desempenho ao Longo do Stroop Color Test*

Ao longo dos 45 minutos de aplicação do teste, o pesquisador principal monitorava, por meio de uma folha de gabarito, as respostas dos participantes. Eram registrados a cada 5 minutos o número de palavras corretas e o número de erros cometidos.

#### *7.3.6 Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC)*

Ao longo dos 45 minutos das situações que tiverem a presença do Stroop Color Test ou das situações controle, foi mensurada a Variabilidade da Frequência Cardíaca. O voluntário era posicionado em uma cadeira e após os dois primeiros minutos de registro iniciava-se o teste (ou o filme). Os dados referentes à VFC (intervalos R-R) foram coletados por meio de um cardiofrequencímetro conectado a um relógio (Polar® V800, Finlândia). Posteriormente, os intervalos R-R foram exportados no formato ASCII e analisados no programa Kubios HRV analysis software versão 2.0 (Biosignal Analysis and Medical Imaging Group at the Department of Applied Physics, University of Kuopio, Kuopio, Finland). Todos os dados passaram por inspeção visual para remoção de batimentos ectópicos; os trechos analisados não tiveram mais que 3% dos batimentos totais removidos, sendo que aqueles batimentos removidos manualmente foram substituídos por interpolação dos intervalos RR adjacentes (Task Force, 1996). Os dados foram agrupados a cada 15 minutos para avaliação da resposta da VFC ao longo do período. Foi escolhido para análise o parâmetro do domínio do tempo RMSSD, por

apresentar boa validade e reprodutibilidade no contexto esportivo (Esco, Williford, Flatt, Freeborn, & Nakamura, 2018; Nakamura et al., 2017).

### *7.3.7 Protocolo de Estimulação Cerebral*

O método de estimulação cortical utilizado no estudo foi a Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC) modelo 1300A (Soterix Medical, New York City, US) sendo essa uma técnica não invasiva, reversível e segura (Gazerani, 2017). Cada eletrodo utilizado possui área de superfície de 25 cm<sup>2</sup>. A intensidade empregada foi de 2.0 mA.

A estimulação foi aplicada por meio de dois eletrodos cobertos por esponjas embebidas em uma solução salina com o objetivo de evitar a transmissão de calor para o couro cabeludo. O eletrodo anodo (positivo) foi colocado sobre o córtex pré-frontal (PFC) esquerdo (área Fp1 do sistema internacional 10-20 de EEG) no delineamento experimental 1, e sobre o córtex motor primário (M1) esquerdo (área C3 do sistema internacional 10-20 de EEG), sendo essas as regiões excitadas. Em ambos os delineamentos, o eletrodo catodo (negativo) foi colocado sobre o ombro ipsilateral, caracterizando uma montagem extra cefálica conforme sugerido por (Angius et al., 2016). Durante as situações em que a estimulação foi aplicada, os indivíduos receberam a estimulação ao longo dos últimos 30 minutos do Stroop test ou da situação controle. Nas duas situações Sham os indivíduos passaram pelos mesmos procedimentos das situações com estimulação, ou seja, foram utilizados os mesmos equipamentos, mesmo local de aplicação e mesma intensidade, porém a estimulação se mantinha por apenas 30 segundos, sendo então retirada gradativamente sem o conhecimento do voluntário. Essa estratégia manteve os voluntários vedados ao procedimento ao qual estavam sendo submetidos uma vez que a maioria dos indivíduos relata a sensação de prurido apenas na fase inicial de aplicação desse instrumento. O equipamento era mantido posicionado até que se completasse a tarefa.

### 7.3.8 Medidas de Desempenho Físico

O tempo total para completar os 20 km foi registrado, assim como as medidas parciais de tempo a cada 2 km. Além disso, a potência desenvolvida a cada 2 km também era registrada

### 7.3.9 Medidas Perceptivas ao longo do Exercício - Percepção Subjetiva do Esforço

A cada 2km era apresentada em uma tela de computador posicionada à frente do voluntário a escala de Percepção Subjetiva de Esforço de Borg (1982).

### 7.3.10 Escala afetiva

A cada 2km era apresentada ao voluntário a escala afetiva (*feeling scale*) proposta por Hardy & Rejeski (1989). Essa escala varia de -5 a +5 sendo ancorada pelas palavras “Muito mal” (-5), “Mal” (-3), “Neutro” (0), “Bem” (+3) e “Muito Bem” (+5).

### 7.3.11 Foco de atenção

A cada 2km era apresentada ao voluntário a Escala de Foco de Atenção proposta por Tenenbaum & Connolly (2008). A escala varia de 0 (pensamento externo) a 10 (pensamento interno) e é ancorada pela descrição de exemplos relacionados ao pensamento externo e interno (ex: Músicas, ambiente → externo; Respiração, músculos → interno).

### 7.3.12 Análise Estatística

Para análise da EVA - fadiga mental foi realizada uma ANOVA *Two-Way* (fatores tempo e estimulação) para o delta dos momentos pós - pré do tratamento de indução de fadiga mental. Para a EVA – Motivação e tempo total de exercício foi utilizada uma ANOVA *Two-Way* (fatores: Fadiga mental e estimulação). Os dados de *spacing*, número de palavras e número de erros do *Stroop Color Test*, PSE e Escalas de Foco de Atenção e Afetividade foram analisados por meio de uma ANOVA *Two-Way* (fatores: estimulação cerebral e fadiga mental) com medidas repetidas. Com relação ao tamanho do efeito, 0.01, 0.06 e 0.14 foram respectivamente considerados como pequeno, médio e

grande efeito (Cohen, 1984). Todos os testes foram realizados no software Graphpad Prism 7.0 e o nível de significância adotado foi de  $\alpha = 0.05$ .

#### **7.4 Resultados – Delineamento Experimental 1 (Córtex pré-frontal)**

##### **7.4.1 Controle da Indução de Fadiga Mental - PFC**

Com relação à percepção da fadiga mental (figura 2-A), foi observado um efeito principal de tempo para o aumento do momento pré para o momento pós tratamento ( $F(1,36) = 57.390$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta_p^2 = 0.61$ ). Contudo, não foram observados efeitos da estimulação cerebral ( $F(1,36) = 0.486$ ,  $p = 0.49$ ,  $\eta_p^2 = 0.01$ ) tampouco interação entre a estimulação cerebral e a fadiga mental ( $F(1,36) = 0.030$ ,  $p = 0.86$ ,  $\eta_p^2 = < 0.001$ ). Portanto, os indivíduos subjetivamente perceberam-se mais cansados mentalmente após o *Stroop Color Test* do que nas situações controle.

Já ao longo do *Stroop Color Test*, houve uma redução no número de palavras corretas ao longo do tempo (figura 2-B) ( $F(8,144) = 5.111$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta_p^2 = 0.22$ ), sem efeito da estimulação cerebral ( $F(1,18) = 0.268$ ,  $p = 0.61$ ,  $\eta_p^2 = 0.003$ ) ou interação ( $F(8,144) = 0.583$ ,  $p = 0.79$ ,  $\eta_p^2 = 0.03$ ). Além disso, o número de erros aumentou ao longo do tempo (figura 2-C) ( $F(8,144) = 5.107$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta_p^2 = 0.22$ ), sem efeito da estimulação cerebral ( $F(1,18) = 0.006$ ,  $p = 0.97$ ,  $\eta_p^2 = 0.03$ ) e sem interação ( $F(8,144) = 0.804$ ,  $p = 0.60$ ,  $\eta_p^2 = 0.04$ ). Portanto, coletivamente pode-se afirmar que houve queda de desempenho cognitivo ao longo do *Stroop Color Test*. Contudo, após as diferentes manipulações experimentais, os indivíduos apresentaram níveis semelhantes de motivação para o desempenho físico subsequente (figura 2-D), já que não foram identificados efeitos do protocolo de fadiga mental ( $F(1,36) = 0.025$ ,  $p = 0.87$ ,  $\eta_p^2 < 0.001$ ), da estimulação cerebral ( $F(1,36) = 0.660$ ,  $p = 0.42$ ,  $\eta_p^2 = 0.01$ ) ou interação entre fadiga mental e estimulação cerebral ( $F(1,36) = 0.127$ ,  $p = 0.72$ ,  $\eta_p^2 = 0.06$ ). Ou seja, mesmo que as variáveis perceptivas e comportamentais indicassem a presença de algum nível de fadiga mental, qualquer mudança no desempenho não poderia ser creditada a níveis diferentes de motivação nas situações com fadiga mental.

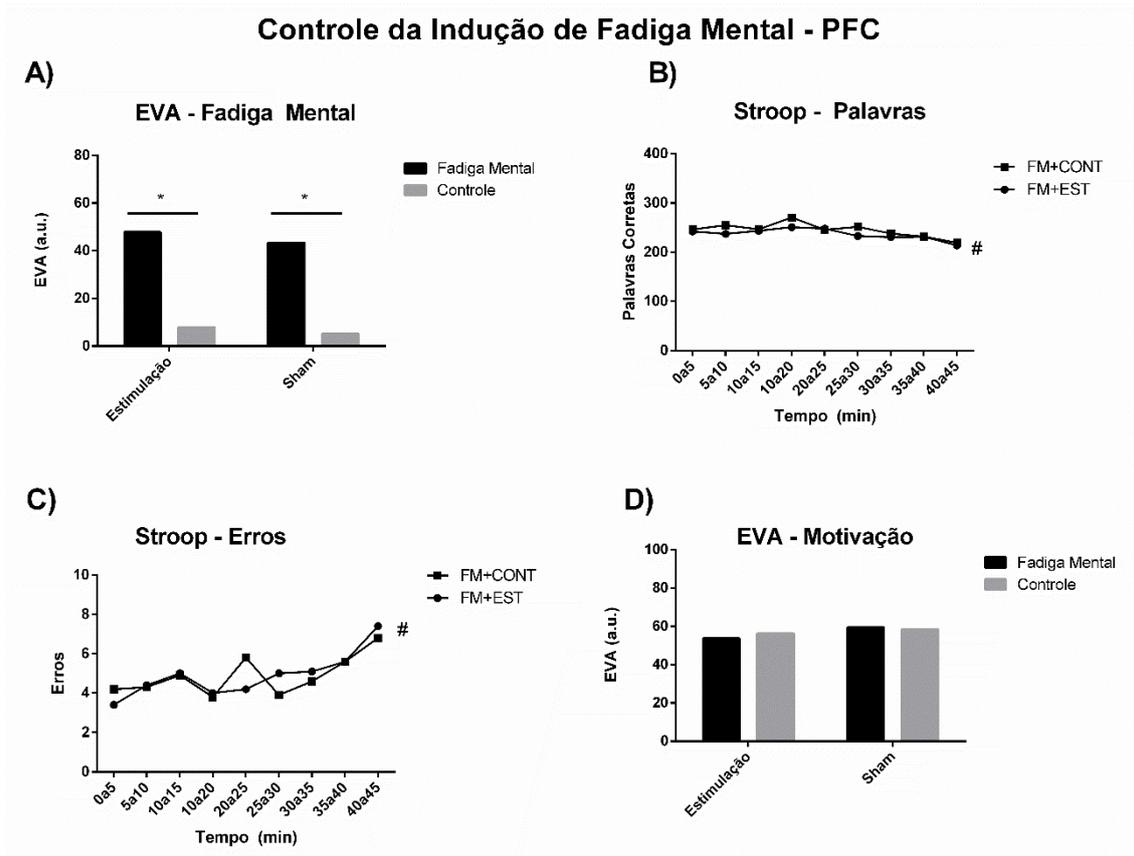


Figura 2. Controle da indução da Fadiga Mental. 2-A) Delta (pós – pré) da Escala Visual Análoga para a percepção de fadiga mental. 2-B) Número de Palavras corretas em cada bloco de 5 minutos ao longo do *Stroop Color Test*, 2-C) Número de erros cometidos em cada bloco de 5 minutos ao longo do *Stroop Color Test*, 2-D) Escala visual análoga para a percepção de motivação para o desempenho físico subsequente. \* - diferença significativa para a situação controle, # - efeito principal de distância.

Com relação à VFC (figura 3), foi observado um efeito principal de tempo ( $F(2,72) = 13.260, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.26$ ), sem efeito da situação experimental ( $F(3,36) = 0.179, p = 0.90, \eta_p^2 = 0.19$ ) ou interação ( $F(6,72) = 0.590, p = 0.73, \eta_p^2 = 0.04$ ). Ou seja, nem a estimulação cerebral, nem o *Stroop Color Test* não foram capazes de alterar a resposta da VFC ao longo do tempo.

### Variabilidade da Frequência Cardíaca - PFC

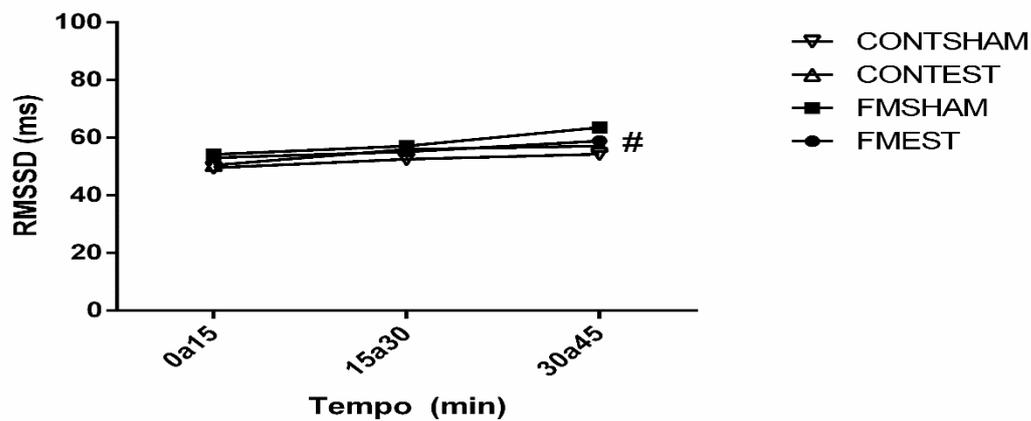


Figura 3. Análise do domínio do tempo da VFC ao longo das situações experimentais. # - efeito principal de tempo.

#### 7.4.2 Desempenho físico - PFC

Com relação ao tempo total de exercício (figura 4-A), não foram identificados efeitos da fadiga mental ( $F(1,36) = 1.405$ ,  $p = 0.24$ ,  $\eta_p^2 = 0.03$ ), nem da estimulação cerebral ( $F(1,36) = 0.006$ ,  $p = 0.97$ ,  $\eta_p^2 < 0.001$ ) e não houve interação entre fadiga mental e estimulação cerebral ( $F(1,36) = 0.118$ ,  $p = 0.73$ ,  $\eta_p^2 = 0.003$ ). De forma semelhante (figura 4-B), nem a fadiga mental nem a estimulação cerebral foram capazes de alterar o pacing escolhido pelos participantes ( $F(3,36) = 0.471$ ,  $p = 0.70$ ,  $\eta_p^2 = 0.10$ ), e não houve interação ( $F(27,324) = 0.950$ ,  $p = 0.53$ ,  $\eta_p^2 = 0.07$ ), mas houve um efeito principal de distância ( $F(9,324) = 12.72$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta_p^2 = 0.26$ ). Logo, de maneira geral, os participantes alteram a forma com que o trabalho foi distribuído ao longo da prova em todas as situações experimentais.

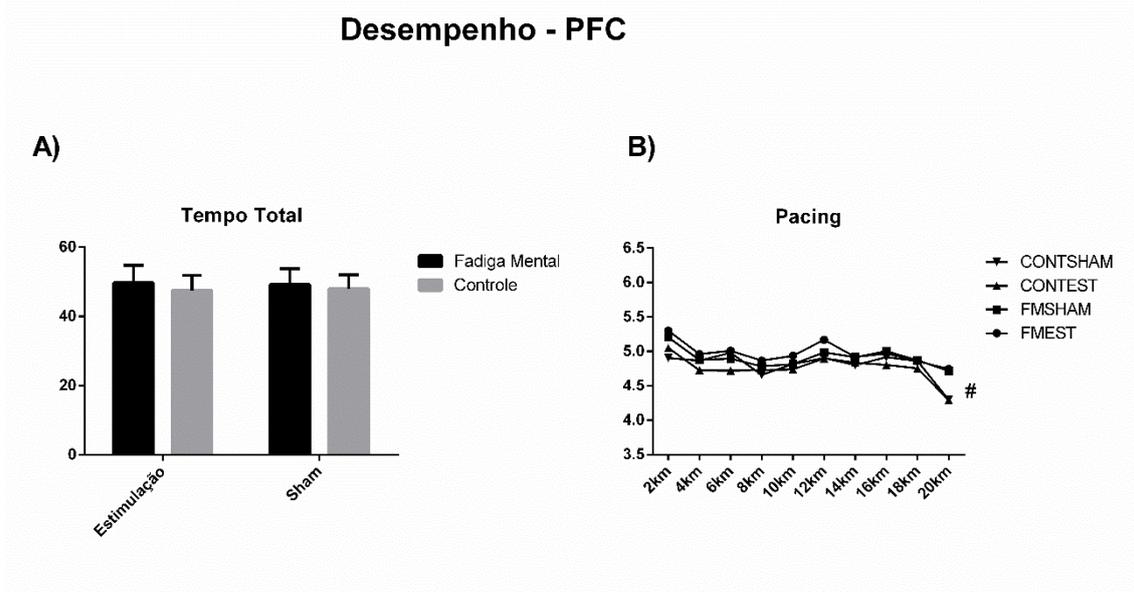


Figura 4. Medidas de desempenho físico. 4-A) Tempo total de exercício. 4-B) Pacing ao longo da prova. # - efeito principal de distância.

Com relação à frequência cardíaca ao longo do exercício, não foram identificadas influências das situações experimentais ( $F(3,36) = 0.817$ ,  $p = 0.96$ ,  $\eta_p^2 = 0.02$ ) nem interação ( $F(57, 684) = 0.955$ ,  $p = 0.56$ ,  $\eta_p^2 = 0.07$ ). Apenas um efeito principal de distância foi observado ( $F(19,684) = 59.82$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta_p^2 = 0.62$ ). De forma semelhante, a potência desenvolvida pelos sujeitos ao longo dos 20km não foi influenciada pelas situações experimentais ( $F(3,36) = 0.218$ ,  $p = 0.88$ ,  $\eta_p^2 = 0.02$ ), como também não houve interação ( $F(57,684) = 1.025$ ,  $p = 0.42$ ,  $\eta_p^2 = 0.07$ ), sendo observado apenas efeito principal de distância ( $F(19,684) = 11.050$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.23$ ). Ou seja, nem a fadiga mental, nem a estimulação cerebral foram capazes de alterar a resposta da frequência cardíaca ou da potência desenvolvida ao longo da prova de forma significativa.

## Medidas de Intensidade - PFC

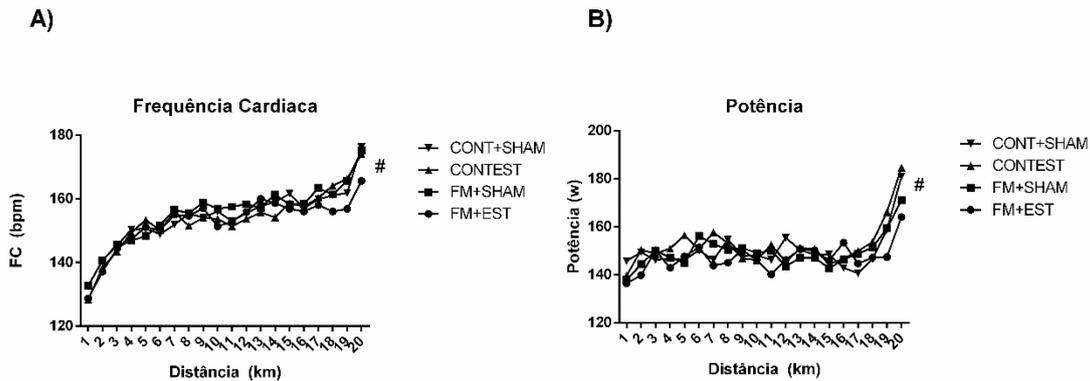


Figura 5. Medidas de intensidade ao longo do exercício. 5-A – Frequência cardíaca, 5-B) Potência. #- efeito principal de distância.

### 7.4.3 Medidas Perceptivas ao longo do exercício- PFC

Com relação às medidas perceptivas ao longo do desempenho, as respostas apresentadas foram semelhantes entre as situações experimentais. A PSE, o Foco de Atenção e a Afetividade ao longo do desempenho não foram influenciados pelas situações experimentais ( $F(3,36) = 0.372$ ,  $p = 0.77$ ,  $\eta_p^2 = 0.06$ ,  $F(3,36) = 0.419$ ,  $p = 0.74$ ,  $\eta_p^2 = 0.04$ ,  $F(3,36) = 0.199$ ,  $p = 0.89$ ,  $\eta_p^2 = 0.04$ , respectivamente), assim como não houve interação ( $F(27,324) = 0.453$ ,  $p = 0.99$ ,  $\eta_p^2 = 0.03$ ,  $F(27,324) = 0.704$ ,  $p = 0.86$ ,  $\eta_p^2 = 0.04$  e  $F(27,324) = 0.649$ ,  $p = 0.91$ ,  $\eta_p^2 = 0.05$  respectivamente), sendo observado um efeito principal de distância para todas as variáveis ( $F(9,324) = 183.000$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.83$ ,  $F(9,324) = 23.830$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.39$ , e  $F(9,324) = 7.437$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.17$ ). Ou seja, nem a fadiga mental nem a estimulação cerebral foram capazes de influenciar essas variáveis perceptivas ao longo das situações experimentais, sendo que apenas o efeito do próprio exercício foi observado.

### Medidas Perceptivas ao longo do Exercício - PFC

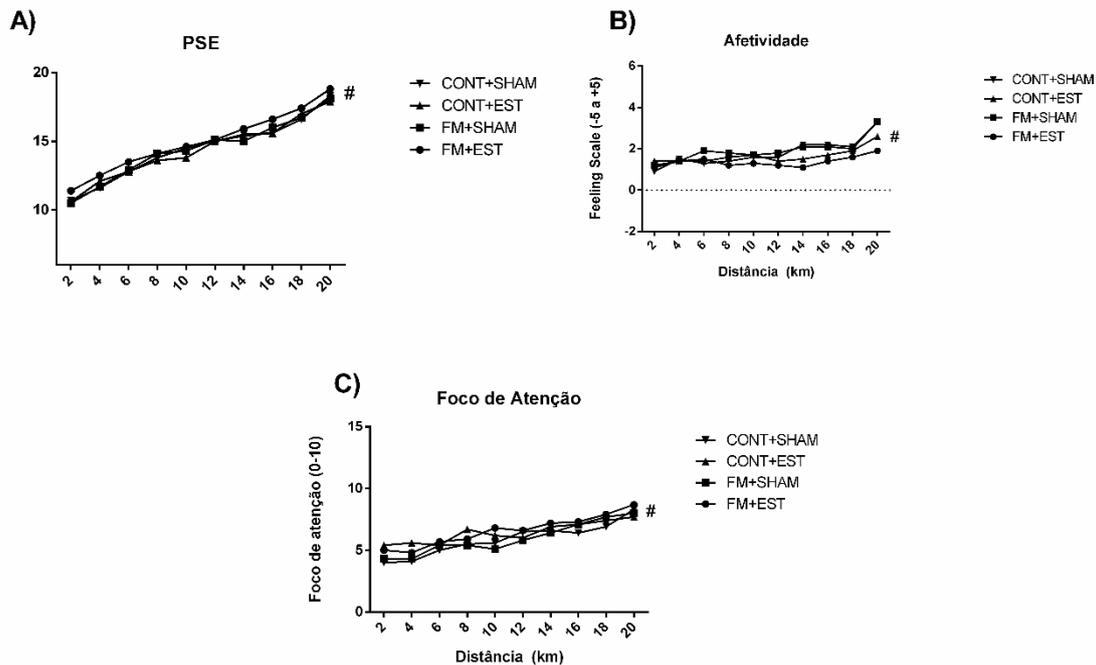


Figura 6. Variáveis perceptivas mensuradas ao longo do exercício. 6-A) percepção subjetiva do esforço, 6-B) Afetividade e 6-C) Foco de atenção. # - efeito principal de distância.

### Resultados – Delineamento Experimental 2 – Córtex Motor Primário (M1)

#### 7.4.4 Controle da Indução de Fadiga Mental – M1

De forma semelhante ao estudo 1, as variáveis de controle de indução de fadiga mental indicam que o protocolo utilizado foi efetivo em promover esse estado, mas não houve influência da estimulação cerebral. Os indivíduos perceberam-se mais mentalmente fadigados (figura 7-A) ( $F(1,36) = 57.390, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.50$ ), apresentaram um reduzido número de palavras corretas ao longo do *Stroop Color Test* (figura 7-B) ( $F(8,144) = 5.456, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.23$ ) assim como cometeram mais erros ao longo do tempo (figura 7-C) ( $F(8,144) = 5.839, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.24$ ). Contudo, não foi observada influência da estimulação cerebral na percepção de fadiga mental, nem no desempenho (número de palavras e erros ao longo do tempo) do *Stroop Color Test* ( $F(1,36) = 0.486, p = 0.49, \eta_p^2 = 0.01, F(1,18) = 0.199, p = 0.66, \eta_p^2 = 0.06, F(1,18) = 0.112, p = 0.74, \eta_p^2 = 0.02$ , respectivamente).

Da mesma forma, nenhuma possível mudança no desempenho físico subsequente pode ser atribuída a reduções motivacionais (figura 7-D) ( $F(1,36)$

= 0.001,  $p = 0.99$ ,  $\eta_p^2 < 0.001$ ), já que os indivíduos também mantiveram níveis semelhantes de motivação antes do início do exercício em todas as situações experimentais.

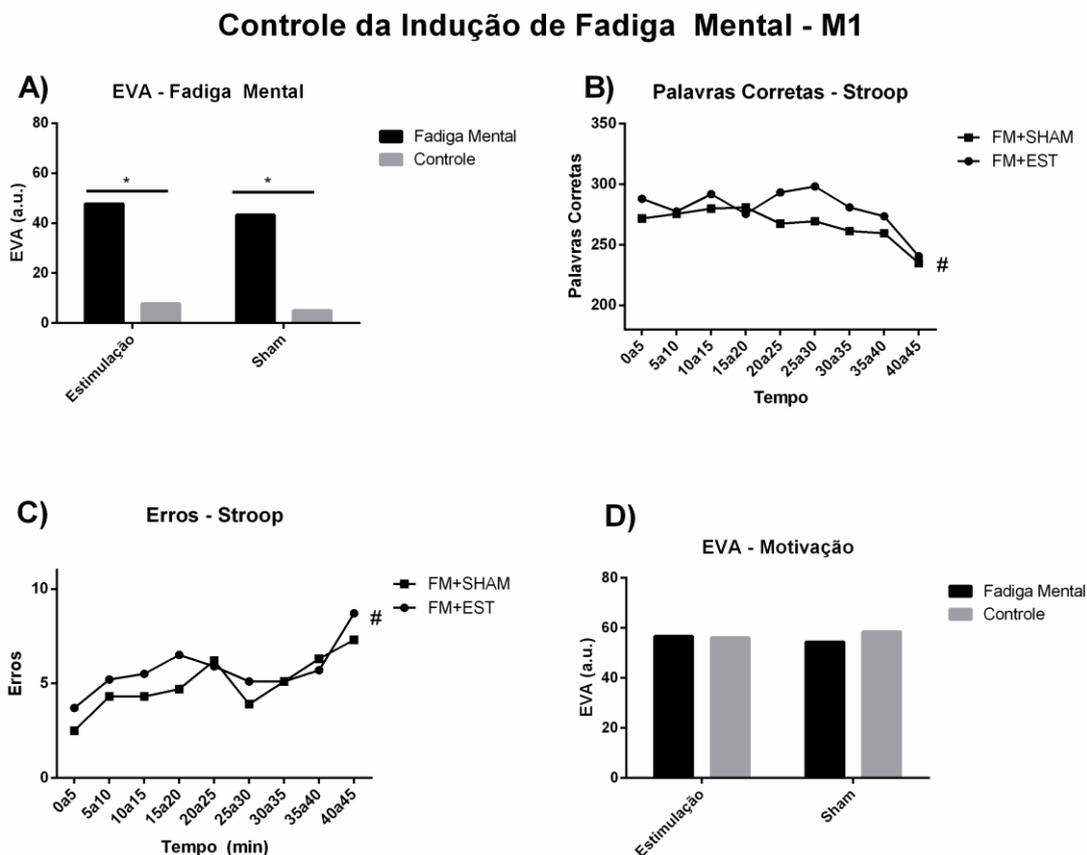


Figura 7. Controle da indução da Fadiga Mental. 7-A) Delta (pós – pré) da escala Escala Visual análoga para a percepção de fadiga mental. 7-B) Número de Palavras corretas em cada bloco de 5 minutos ao longo do *Stroop Color Test*, 7-C) Número de erros cometidos em cada bloco de 5 minutos ao longo do *Stroop Color Test*, 7-D) Escala visual análoga para a percepção de motivação para o desempenho físico subsequente. \* - diferença significativa para a situação controle, # - efeito principal de tempo.

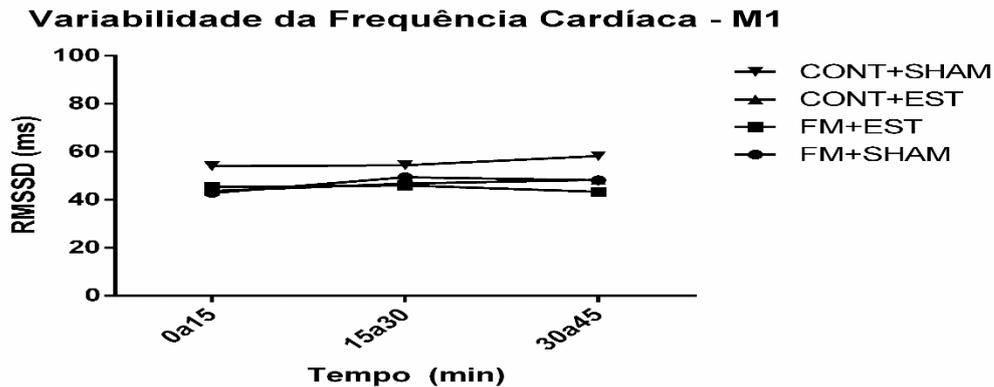


Figura 8. Análise do domínio do tempo da VFC ao longo das situações experimentais.

Também acompanhando os resultados do delineamento 1, o protocolo de indução de fadiga mental não foi capaz de alterar a resposta da VFC em condição de demanda cognitiva prolongada ao longo do tempo ( $F(2,16) = 1.782$ ,  $p = 0.20$ ,  $\eta_p^2 = 0.01$ ), e também não foi identificada influência da estimulação cerebral ( $F(3,24) = 1.157$ ,  $p = 0.34$ ,  $\eta_p^2 = 0.06$ ) nem interação ( $F(6,48) = 1.913$ ,  $p = 0.34$ ,  $\eta_p^2 = 0.07$ ).

#### 7.4.5 Resultados – Desempenho físico – M1

Com relação ao desempenho físico, a fadiga mental não foi capaz de reduzir o desempenho ( $F(1,36) = 0.015$ ,  $p = 0.90$ ,  $\eta_p^2 < 0.001$ ), assim como não houve efeito da estimulação cerebral ( $F(1,36) = 0.056$ ,  $p = 0.81$ ,  $\eta_p^2 < 0.001$ ) no tempo total para completar os 20km. De forma semelhante, as diferentes situações experimentais não foram capazes de alterar o pacing ao longo dos 20km ( $F(3,36) = 0.030$ ,  $p = 0.99$ ,  $\eta_p^2 = 0.01$ ), sendo observado apenas um efeito principal de distância ( $F(9,324) = 18.830$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.34$ ).

## Desempenho - M1

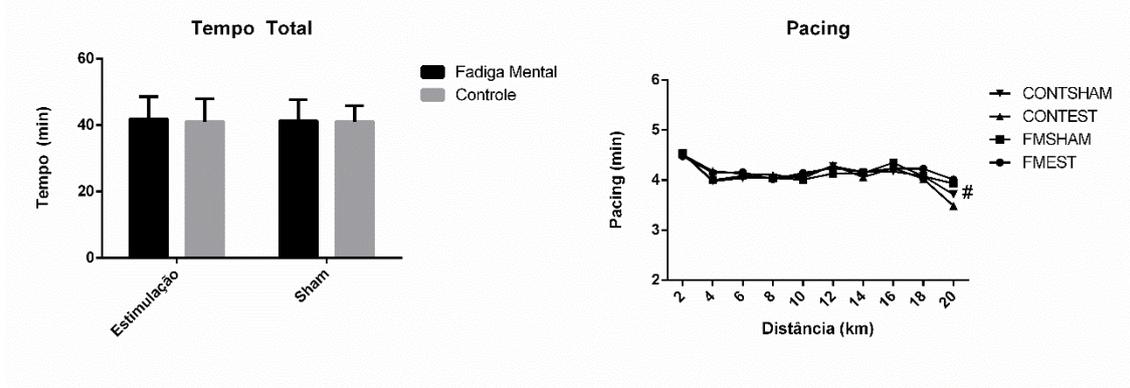


Figura 9. Medidas de desempenho físico. 9-A) Tempo total de exercício. 9-B) Pacing ao longo da prova. # - efeito principal de distância.

As medidas de intensidade ao longo do exercício também não foram influenciadas nem pela fadiga mental nem pela estimulação cerebral do córtex motor. Tanto a frequência cardíaca ( $F(19,684) = 54.640$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.60$ ) quanto a potência ao longo do exercício ( $F(19,513) = 7.451$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.22$ ) apresentaram apenas um efeito principal de distância.

## Medidas de Intensidade - M1

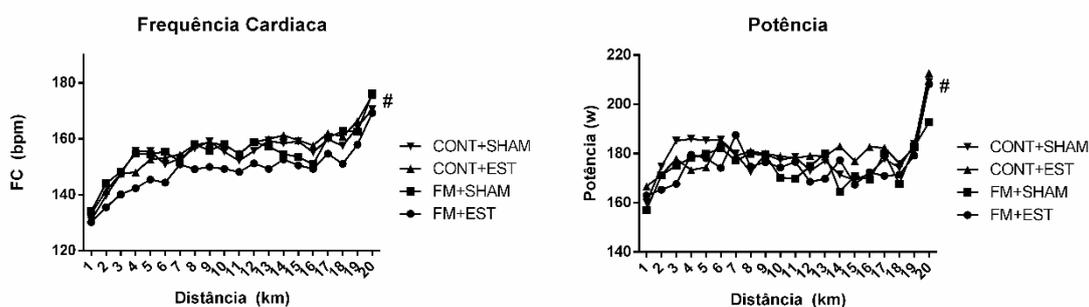


Figura 10. Medidas de intensidade ao longo do exercício. 5-A – Frequência cardíaca, 5-B) Potência. # - efeito principal de distância.

### 7.4.6 Medidas Perceptivas ao longo do exercício – M1

Com relação às medidas perceptivas ao longo do exercício, foram identificados apenas efeitos principais de distância para as variáveis PSE ( $F(9,324) = 157.900$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.81$ ) e foco de atenção ( $F(9,324) = 31.350$ ,  $p <$

0.001,  $\eta_p^2 = 0.46$ ). Nem a fadiga mental, nem a estimulação cerebral foram capazes de alterar as respostas perceptivas ao longo do exercício.

### Medidas Perceptivas ao Longo do Exercício - M1

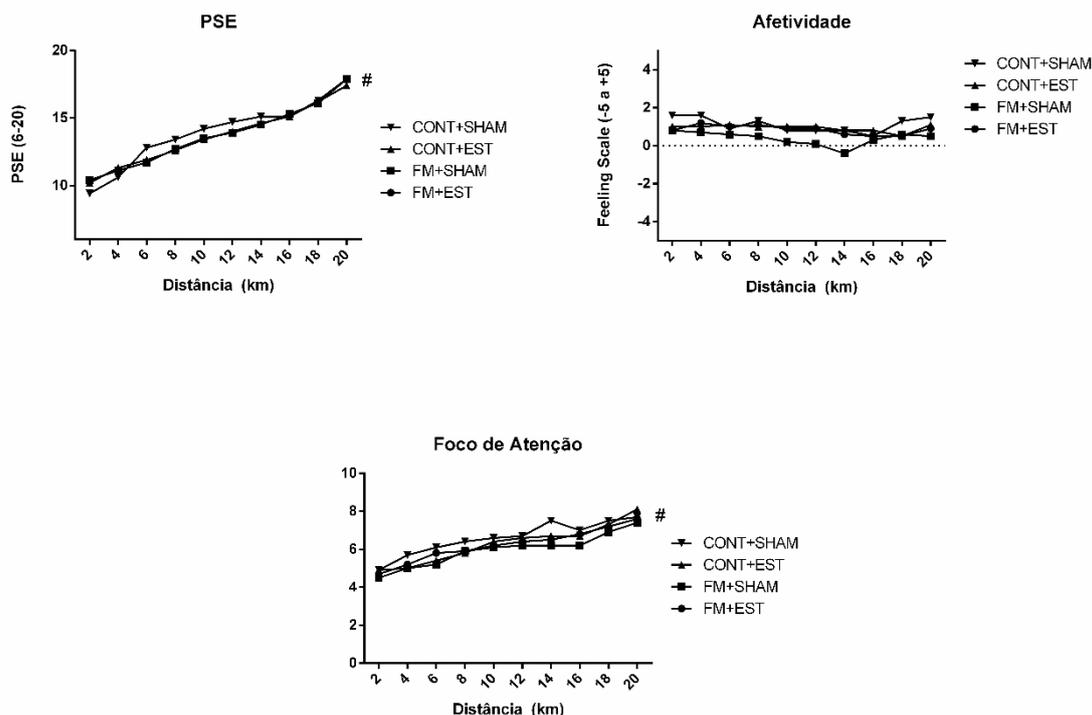


Figura 11. Variáveis perceptivas mensuradas ao longo do exercício. 6-A) percepção subjetiva do esforço, 6-B) Afetividade e 6-C) Foco de atenção. # - efeito principal de distância.

### 7.5 Discussão Geral

O presente estudo objetivou analisar o efeito da fadiga mental, da estimulação cerebral de diferentes áreas e da associação de ambos no desempenho aeróbico prolongado e em variáveis perceptivas ao longo do exercício em indivíduos não treinados. Contrariando nossas hipóteses, foi identificado que a fadiga mental (1) não foi capaz de piorar o desempenho nem de alterar negativamente as respostas perceptivas; e (2) a estimulação cerebral de diferentes áreas também não foi capaz de melhorar o desempenho nem de alterar positivamente as respostas perceptivas em indivíduos não treinados. Esses resultados podem ter implicações tanto para aspectos relacionados ao

desempenho, quanto para aspectos relacionados à aderência e participação de indivíduos não treinados em programas de exercício físico regulares.

#### *7.5.1 Controle da indução de Fadiga Mental*

O protocolo de indução de fadiga mental empregada nesse estudo, em ambos os delineamentos experimentais, parece ter sido eficaz (figuras 2 e 7). Tanto as medidas perceptivas, (aumento do delta da percepção subjetiva de fadiga mental (figura 2-A e 7-A) quanto as medidas comportamentais (figura 2-B, 2-C, 7-B e 7-C; i.e., reduzido número de palavras ao longo do tempo associado ao maior número de erros), indicam que os voluntários de fato apresentaram algum nível de fadiga mental após o tratamento aplicado, o que não foi observado nas situações controle. Apesar das medidas subjetivas de fadiga poderem sofrer influências de outras variáveis (e.g., ansiedade; vide (Roe Holtzer, Shuman, Mahoney, Lipton, & Verghese, 2010), a associação entre essas medidas subjetivas de fadiga e a queda do desempenho cognitivo já foi demonstrada em estudos anteriores (Holtzer & Foley, 2009). Dessa forma, coletivamente esses resultados demonstram que os indivíduos iniciaram o exercício sob influência da fadiga mental.

Ainda com relação ao controle da fadiga mental, o período prolongado de esforço mental induzido pelo *Stroop color test* não foi capaz de alterar a resposta da VFC (figuras 3 e 8). Apesar da relação entre a alteração dos índices da VFC estarem relacionados com a resposta psicofisiológica, dentre elas a auto regulação e o estresse cognitivo (Laborde, Mosley, & Thayer, 2017; Melillo, Bracale, & Pecchia, 2011), no presente estudo não foi possível relacionar a queda do desempenho cognitivo com a alteração no índice da VFC (RMSSD). Um dos motivos que podem explicar essa resposta observada no presente estudo é a própria natureza do teste cognitivo empregado. Como a tarefa envolvia a verbalização das respostas, ela pode ter influenciado o padrão respiratório e conseqüentemente a própria resposta da VFC. Essa possível interferência da verbalização nos índices da VFC foi demonstrada experimentalmente por (Bernardi et al., 2000). Portanto, para o controle fisiológico da fadiga mental em testes que utilizam esse tipo de resposta verbal a VFC pode não ser eficiente. Além disso, a estimulação cerebral do PFC e do

M1 também não parece alterar a resposta da VFC, já os substratos cerebrais que atuam de maneira efetiva na regulação autonômica cardíaca parecem estar ligados a áreas como o córtex insular (Okano et al., 2015).

Outro ponto a se destacar está relacionado à motivação pré exercício. Por mais que os indivíduos tenham apresentado algum tipo de fadiga mental, a motivação para o início do exercício não foi diferente entre as situações experimentais (figura 2-D e 7-D). Contudo, os indivíduos apresentaram, de forma geral, baixos índices de motivação pré-exercício (em torno de 53 u.a.). Em estudo do nosso grupo com protocolo semelhante aplicado com atletas masters de natação (dados não publicados), a média da motivação auto reportada para o teste físico subsequente foi de aproximadamente 70 u.a. Logo, como a motivação é capaz de influenciar e até mesmo reverter os efeitos deletérios da fadiga mental (Boksem, Meijman, & Lorist, 2006), o baixo nível de motivação inicial em todas as situações podem ter influenciado os resultados do presente estudo.

### *7.5.2 Desempenho Físico*

Com relação ao desempenho físico, contrariando nossa hipótese, não foram observados efeitos da fadiga mental, nem da estimulação cerebral do PFC (figura 4-A) ou M1 (figura 9-A). Portanto, a discussão sobre a capacidade da estimulação cerebral reverter os possíveis efeitos deletérios da fadiga mental fica limitada. Apesar desse fato, a não observação de queda de desempenho físico após de um período prolongado de esforço cognitivo em indivíduos não treinados já foi demonstrada (Clark et al., 2019). Contudo, os autores do trabalho supracitado não identificaram queda de desempenho cognitivo ao longo da indução de fadiga mental. Logo, foi creditada a essa possível ausência do estado de fadiga mental a não observação do efeito ergolítico do esforço cognitivo prolongado antes do teste físico. No caso do presente estudo, em que podemos inferir que houve, de fato, a presença do estado induzido de fadiga mental, acredita-se que a tarefa pode ter sido demasiadamente extensa para essa população (tempo acima dos 40 minutos de duração). Portanto, o desempenho inclusive nas situações controle já é considerado baixo, não possuindo uma janela para observação do efeito ergolítico da fadiga mental.

Coletivamente, ao se analisar os dados disponíveis na literatura e com as informações que o presente estudo acrescenta, pode-se especular que o efeito deletério da fadiga mental relaciona-se com o nível de aptidão e/ou experiência dos praticantes no formato de “U” invertido, já que pessoas destreinadas, como foi o caso do presente estudo e também no estudo de Clark et al (2018), assim como indivíduos altamente treinados (Clark et al., 2019; Martin, Staiano, Menasp, Hennessey, & Marcora, 2016) parecem não sofrer com os efeitos deletérios da fadiga mental, enquanto níveis intermediários de performance e/ou experiência competitiva (como por exemplo em jovens atletas conforme estudo de Penna et al., 2018) parecem estar mais vulneráveis à observação desse efeito. Contudo, estudos futuros ainda são necessários para testar essa hipótese.

Com relação à estimulação cerebral do PFC (delineamento experimental 1), ela não foi capaz de melhorar o desempenho ou alterar o pacing (Figura 4-A e Figura 4-B) nem as variáveis de controle da intensidade (Figura 5) mesmo na ausência da fadiga mental (situações cont+est x cont+sham). Sabe-se que essa região está diretamente relacionada com o processo de regulação do esforço ao longo do exercício físico, principalmente por meio da interpretação de variáveis fisiológicas internas que, combinadas com fatores externos presentes em um contexto de exercício, podem determinar a sua tolerância (Robertson & Marino, 2015). Além disso, quando há a presença de um estado induzido de fadiga mental, essa área apresenta um aumento de atividade de onda *theta* que permanece alterada ao longo do exercício, indicando um decréscimo de capacidade de modulação dessa área (Pires et al., 2018). Contudo, a estimulação cerebral do PFC em indivíduos não treinados não refletiu em melhora do desempenho. Uma possível explicação para esse fato é de que mesmo que a estimulação cerebral tenha sido capaz de alterar a excitabilidade dessa área, facilitando a integração sensorial e mantendo a capacidade de manter o controle volitivo ao longo do exercício (Robertson & Marino, 2015). Essas possíveis melhorias não são capazes de refletir uma melhora de desempenho sensível o suficiente, principalmente em indivíduos não treinados, que já apresentam uma eficiência neural diminuída (Del Percio et al., 2008; Raichlen et al., 2016). Contudo, se o nível de desempenho

aeróbico é determinante para a observação dos efeitos positivos da estimulação cerebral ainda carece de maiores informações.

De forma semelhante, a estimulação do M1 (delineamento experimental 2) também não foi capaz de melhorar o desempenho ou alterar o pacing sem a presença da fadiga mental (figura 9) assim como alterar as medidas de intensidade (figura 10). Apesar de estar mais relacionada com o controle voluntário das ações musculares, outras funções dessa região têm sido identificadas, como aprendizagem e cognição (Sanes & Donoghue, 2000). Portanto, seria lógico inferir que a facilitação da excitabilidade neuronal dessa região poderia refletir em uma melhora do desempenho físico que envolvesse grandes grupos musculares, como é o caso do ciclismo. De fato, já foi demonstrado que esse efeito ocorre principalmente por meio da redução da PSE (Angius et al., 2016). Contudo, o resultado observado no presente estudo pode ter sido observado porque, sendo os voluntários não treinados, a estimulação do M1 pode não ter sido capaz de reduzir o *input* excitatório para o recrutamento dos músculos locomotores. Ou seja, a elevada demanda de recursos alocadas para esse substrato para o recrutamento da atividade locomotora, comumente observado em indivíduos não treinados, (Koenke, Lutz, Esslen, & Jäncke, 2006) pode não ter sido suficientemente reduzida pela estimulação cerebral.

### *7.5.3 Medidas perceptivas ao longo do exercício*

Com relação às medidas perceptivas ao longo do exercício, não foram observados efeitos nem da fadiga mental nem da estimulação cerebral em ambas as áreas estimuladas (PFC e M1), sendo, no geral, observado apenas efeitos principais da distância (figuras 6 e 11). Hipotetizou-se que a fadiga mental poderia afetar negativamente as medidas perceptivas (aumentando a PSE, reduzindo a afetividade e alterando a direção do foco de atenção), ao passo que a estimulação cerebral poderia anular esse efeito negativo ou até mesmo revertê-lo, especificamente por meio de mecanismos diferentes entre cada delineamento.

Com relação ao PFC (figura 6), acreditava-se que a PSE, juntamente com a resposta afetiva poderia estar reduzida nas situações com a presença da

estimulação cerebral principalmente pela atenuação das respostas aferentes perceptivas que são integradas nessa região (Robertson e Marino 2016) e também por uma maior tolerância ao exercício. Isso porque essa região está relacionada com essa resposta principalmente quando há aumento de demandas fisiológicas (por exemplo aumento fluxo sanguíneo cerebral; ver (Tempest & Parfitt, 2016). Contudo, o aumento da excitabilidade do PFC não foi suficiente nem para reduzir a PSE nem para melhorar aspectos afetivos ao longo do exercício. Uma hipótese a ser testada é a de que essa região poderia ser mais eficiente em reduzir a percepção do esforço por meio da hiperpolarização (inibição empregando a estimulação catódica), já que têm sido observadas melhorias em tarefas cognitivas quando o controle cognitivo, exercido pelo PFC, é dificultado pela hiperpolarização dessa região (Chrysikou et al., 2013). Além disso, o papel mediador que as adaptações crônicas ao exercício no tecido cerebral apresentam sobre a eficácia da estimulação cerebral também necessitam ser elucidadas.

De forma semelhante, com relação ao M1 (figura 11), hipotetizou-se que a PSE, juntamente com a resposta afetiva, poderia estar reduzida nas situações com a presença da estimulação cerebral principalmente por meio do aumento da excitabilidade desse substrato, aumentando o seu *output* e provavelmente atrasando o desenvolvimento da fadiga supraespinal (reduzida capacidade do sistema nervoso central em recrutar unidades motoras). Esse resultado já foi demonstrado em estudos anteriores, suportando essa hipótese (Angius et al., 2016; Cogiamanian, Marceglia, Ardolino, Barbieri, & Priori, 2007). Contudo, elementos relacionados à própria estimulação cerebral (como por exemplo o estado de excitabilidade cortical da região estimulada, conforme demonstrado por Lang et al., 2004) associados a fatores inerentes à tarefa (bilateral envolvendo grande massa corporal) podem estar associados a essa variabilidade dos resultados envolvendo a estimulação cerebral do M1 com as medidas perceptivas e afetivas ao longo do exercício.

Por fim, a direção do foco de atenção também não sofreu influências nem da fadiga mental nem da estimulação cerebral nas duas diferentes regiões (figuras 6 e 11). Hipotetizou-se que a fadiga mental poderia internalizar a direção do foco de atenção, ao passo que a estimulação cerebral poderia anular esse

processo ou aumentar a externalização do foco de atenção, já que esse processo de internalização ou externalização do foco de atenção também se relaciona com a PSE (Razon, Basevitch, Land, Thompson, & Tenenbaum, 2009). De fato, já foi demonstrado que com o aumento da intensidade do exercício o foco de atenção tende a se internalizar (Hutchinson & Tenenbaum, 2007), e que a externalização do foco de atenção pode ser benéfica para o desempenho, já que a alocação majoritariamente interna desses recursos atencionais pode exacerbar as sensações de fadiga, prejudicando a economia de corrida (Schücker, Schmeing, & Hagemann, 2016; Williams et al., 2015). Contudo, como a amostra do presente estudo envolveu indivíduos não treinados, essa estratégia consciente de externalização do foco de atenção pode não ter acontecido, já que ela depende da experiência prévia nesse tipo de atividade (Smits, Pepping, & Hettinga, 2014). Além disso, conforme demonstrado por (Whitehead et al., 2018), indivíduos não treinados pensam mais em informações irrelevantes, dor e desconforto do que indivíduos treinados. Logo, os dados perceptivos ao longo do exercício parecem indicar que a estimulação cerebral pode não ser uma estratégia eficiente para alterar a sua resposta, que parece ser mais dependente do treinamento e experiência em atividades de diferentes durações e intensidades.

## **7.6 Conclusão**

Os resultados da presente investigação indicam que apesar da fadiga mental não ser capaz de influenciar o desempenho de indivíduos não treinados, a estimulação cerebral do M1 e do PFC também não parece ser eficiente para melhorar o desempenho desses indivíduos. Além disso, variáveis perceptivas ao longo do exercício também não sofrem influências dessas intervenções (fadiga mental e estimulação cerebral).

## **7.7 Referências**

- Angius, L., Pageaux, B., Hopker, J., Marcora, S. M., & Mauger, A. R. (2016). Transcranial direct current stimulation improves isometric time to exhaustion of the knee extensors. *Neuroscience*, *339*, 363–375. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.10.028>

- Bernardi, L., Wdowczyk-Szulc, J., Valenti, C., Castoldi, S., Passino, C., Spadacini, G., & Sleight, P. (2000). Effects of controlled breathing, mental activity and mental stress with or without verbalization on heart rate variability. *Journal of the American College of Cardiology*, *35*(6), 1462–1469. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(00\)00595-7](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(00)00595-7)
- Boksem, M. A. S., Meijman, T. F., & Lorist, M. M. (2005). Effects of mental fatigue on attention : An ERP study. *Cognitive Brain Research*, *25*, 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.04.011>
- Boksem, M. A. S., Meijman, T. F., & Lorist, M. M. (2006). Mental fatigue, motivation and action monitoring. *Biological Psychology*, *72*(2), 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.08.007>
- Boksem, M. A. S., & Tops, M. (2008). Mental fatigue: Costs and benefits. *Brain Research Reviews*, *59*(1), 125–139. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2008.07.001>
- Brownsberger, J., Edwards, A., Crowther, R., & Cottrell, D. (2013). Impact of mental fatigue on self-paced exercise. *International Journal of Sports Medicine*, *34*(12), 1029–1036. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1343402>
- Brümmer, V., Schneider, S., Strüder, H. K., & Askew, C. D. (2011). Primary motor cortex activity is elevated with incremental exercise intensity. *Neuroscience*, *181*(1), 150–162. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2011.02.006>
- Chryssikou, E. G., Hamilton, R. H., Coslett, H. B., Datta, A., Bikson, M., & Thompson-Schill, S. L. (2013). Noninvasive transcranial direct current stimulation over the left prefrontal cortex facilitates cognitive flexibility in tool use. *Cognitive Neuroscience*, *4*(2), 81–89. <https://doi.org/10.1080/17588928.2013.768221>
- Clark, I. E., Goulding, R. P., DiMenna, F. J., Bailey, S. J., Jones, M. I., Fulford, J., ... Vanhatalo, A. (2019). Time-trial performance is not impaired in either competitive athletes or untrained individuals following a prolonged cognitive task. *European Journal of Applied Physiology*, *119*(1), 149–161. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-4009-6>
- Cogiamanian, F., Marceglia, S., Ardolino, G., Barbieri, S., & Priori, A. (2007). Improved isometric force endurance after transcranial direct current stimulation over the human motor cortical areas. *European Journal of Neuroscience*, *26*(1), 242–249. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2007.05633.x>
- Cohen, J. (1984). F Tests on Means in the Analysis of Variance and Covariance. In *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (p. 273–406). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-179060-8.50013-X>
- Colzato, L. S., Nitsche, M. A., & Kibele, A. (2016). Noninvasive Brain Stimulation and Neural Entrainment Enhance Athletic Performance—a Review. *Journal of Cognitive Enhancement*, *1*(1), 73–79. <https://doi.org/10.1007/s41465-016-0003-2>
- Cutsem, J. Van, Marcora, S., Pauw, K. De, Bailey, S., Meeusen, R., &

- Roelands, B. (2017). The Effects of Mental Fatigue on Physical Performance : A Systematic Review. *Sports Medicine*, 47(8), 1569–1588. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0672-0>
- de Morree, H. M., Klein, C., & Marcora, S. M. (2012). Perception of effort reflects central motor command during movement execution. *Psychophysiology*, 49(9), 1242–1253. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2012.01399.x>
- Del Percio, C., Rossini, P. M., Marzano, N., Iacoboni, M., Infarinato, F., Aschieri, P., ... Eusebi, F. (2008). Is there a “neural efficiency” in athletes? A high-resolution EEG study. *NeuroImage*, 42(4), 1544–1553. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.05.061>
- Esco, M. R., Williford, H. N., Flatt, A. A., Freeborn, T. J., & Nakamura, F. Y. (2018). Ultra-shortened time-domain HRV parameters at rest and following exercise in athletes: an alternative to frequency computation of sympathovagal balance. *European Journal of Applied Physiology*, 118(1), 175–184. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3759-x>
- Gazerani, P. (2017). Performance enhancement by brain stimulation. *Journal of Sports Science and Medicine*, 16(3), 438–439.
- Hardy, C. J., & Rejeski, W. J. (1989). Not What, but How One Feels: The Measurement of Affect during Exercise. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 11, 304–317. <https://doi.org/10.1123/jsep.11.3.304>
- Holtzer, R., & Foley, F. (2009). The relationship between subjective reports of fatigue and executive control in Multiple Sclerosis. *Journal of the Neurological Sciences*, 281(1–2), 46–50. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2009.02.360>
- Holtzer, Roe, Shuman, M., Mahoney, J. R., Lipton, R., & Verghese, J. (2010). Cognitive Fatigue Defined in the Context of Attention Networks. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 18(1), 108–128. <https://doi.org/10.1080/13825585.2010.517826>
- Hopkins, W. G. (2000). Measures of Reliability in Sports Medicine and Science. *Sports Medicine*, 30(1), 1–15. <https://doi.org/10.2165/00007256-200030010-00001>
- Hutchinson, J. C., & Tenenbaum, G. (2007). Attention focus during physical effort: The mediating role of task intensity. *Psychology of Sport and Exercise*, 8(2), 233–245. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2006.03.006>
- Koeneke, S., Lutz, K., Esslen, M., & Jäncke, L. (2006). How finger tapping practice enhances efficiency of motor control. *NeuroReport*, 17(15), 1565–1569. <https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000234748.80936.1d>
- Laborde, S., Mosley, E., & Thayer, J. F. (2017). Heart rate variability and cardiac vagal tone in psychophysiological research - Recommendations for experiment planning, data analysis, and data reporting. *Frontiers in Psychology*, 8(FEB), 1–18. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00213>
- Lang, N., Siebner, H. R., Ernst, D., Nitsche, M. A., Paulus, W., Lemon, R. N., &

- Rothwell, J. C. (2004). Preconditioning with transcranial direct current stimulation sensitizes the motor cortex to rapid-rate transcranial magnetic stimulation and controls the direction of after-effects. *Biological Psychiatry*, *56*(9), 634–639. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2004.07.017>
- Marcora, S. M., Staiano, W., & Manning, V. (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, *106*(3), 857–864. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.91324.2008>
- Martin, K., Staiano, W., Menasp, P., Hennessey, T., & Marcora, S. (2016). Superior Inhibitory Control and Resistance to Mental Fatigue in Professional Road Cyclists. *PLoS ONE*, *11*(7), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159907>
- McMorris, T., Barwood, M., Hale, B. J., Dicks, M., & Corbett, J. (2018). Cognitive fatigue effects on physical performance: A systematic review and meta-analysis. *Physiology and Behavior*, *188*(January), 103–107. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.01.029>
- Melillo, P., Bracale, M., & Pecchia, L. (2011). Nonlinear Heart Rate Variability features for real-life stress detection. Case study: Students under stress due to university examination. *BioMedical Engineering Online*, *10*(1), 96. <https://doi.org/10.1186/1475-925X-10-96>
- Nakamura, F. Y., Pereira, L. A., Esco, M. R., Flatt, A. A., Moraes, J. E., Cal Abad, C. C., & Loturco, I. (2017). Intra- and inter-day reliability of ultra-short-term heart rate variability in rugby union players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *31*(2), 548–551. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001514>
- Okano, A. H., Fontes, E. B., Montenegro, R. A., De Tarso Veras Farinatti, P., Cyrino, E. S., Li, L. M., ... Noakes, T. D. (2015). Brain stimulation modulates the autonomic nervous system, rating of perceived exertion and performance during maximal exercise. *British Journal of Sports Medicine*, *49*(18), 1213–1218. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091658>
- Pauw, K. De, Roelands, B., Geus, B. De, & Meeusen, R. (2013). Guidelines to classify subject groups in sport- science research. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *8*, 111–122. <https://doi.org/10.1123/ijsp.8.2.111>
- Penna, E. M., Filho, E., Wanner, S. P., Campos, B. T., Quinan, G. R., Mendes, T. T., ... Prado, L. S. (2018). Mental Fatigue Impairs Physical Performance in Young Swimmers. *Pediatric Exercise Science*, *30*(2), 208–215. <https://doi.org/10.1123/pes.2017-0128>
- Pires, F. O., Silva-Júnior, F. L., Brietzke, C., Franco-Alvarenga, P. E., Pinheiro, F. A., de França, N. M., ... Santos, T. M. (2018). Mental fatigue alters cortical activation and psychological responses, impairing performance in a distance-based cycling trial. *Frontiers in Physiology*, *9*(MAR), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00227>
- Raichlen, D. A., Bharadwaj, P. K., Fitzhugh, M. C., Haws, K. A., Torre, G.-A.,

- Trouard, T. P., & Alexander, G. E. (2016). Differences in Resting State Functional Connectivity between Young Adult Endurance Athletes and Healthy Controls. *Frontiers in Human Neuroscience*, *10*(November). <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00610>
- Razon, S., Basevitch, I., Land, W., Thompson, B., & Tenenbaum, G. (2009). Perception of exertion and attention allocation as a function of visual and auditory conditions. *Psychology of Sport and Exercise*, *10*(6), 636–643. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2009.03.007>
- Rhodes, R. E., & Kates, A. (2015). Can the Affective Response to Exercise Predict Future Motives and Physical Activity Behavior? A Systematic Review of Published Evidence. *Annals of Behavioral Medicine*, *49*(5), 715–731. <https://doi.org/10.1007/s12160-015-9704-5>
- Robertson, C. V., & Marino, F. E. (2015). A role for the prefrontal cortex in exercise tolerance and termination. *Journal of Applied Physiology*, *120*(4), 464–466. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00363.2015>
- Russell, S., Jenkins, D., Rynne, S., Halson, S. L., & Kelly, V. (2019). What is mental fatigue in elite sport? Perceptions from athletes and staff. *European Journal of Sport Science*, *0*(0), 1–26. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1618397>
- Sanes, J. N., & Donoghue, J. P. (2000). Plasticity and Primary Motor Cortex. *Annual Reviews in Neuroscience*, *23*, 393–415.
- Schiphof-Godart, L., Roelands, B., & Hettinga, F. J. (2018). Drive in sports: How mental fatigue affects endurance performance. *Frontiers in Psychology*, *9*(AUG), 1–7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01383>
- Schücker, L., Schmeing, L., & Hagemann, N. (2016). “Look around while running!” Attentional focus effects in inexperienced runners. *Psychology of Sport and Exercise*, *27*, 205–212. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2016.08.013>
- Smith, M. R., Coutts, A. J., Merlini, M., Deprez, D., Lenoir, M., & Marcora, S. M. (2016). Mental fatigue impairs soccer-specific physical and technical performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *48*(2), 267–276. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000762>
- Smits, B. L. M., Pepping, G. J., & Hettinga, F. J. (2014). Pacing and decision making in sport and exercise: The roles of perception and action in the regulation of exercise intensity. *Sports Medicine*, *44*(6), 763–775. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0163-0>
- Task, F. (1996). Guidelines: Heart rate variability Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology. *European Heart Journal*, *17*, 354–381. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043>
- Tempest, G. D., Eston, R. G., & Parfitt, G. (2014). Prefrontal cortex haemodynamics and affective responses during exercise: A multi-channel near infrared spectroscopy study. *PLoS ONE*, *9*(5), 1–9.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095924>

- Tempest, G., & Parfitt, G. (2016). Self-reported tolerance influences prefrontal cortex hemodynamics and affective responses. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 16(1), 63–71. <https://doi.org/10.3758/s13415-015-0374-3>
- Tenenbaum, G., & Connolly, C. T. (2008). Attention allocation under varied workload and effort perception in rowers. *Psychology of Sport and Exercise*, 9(5), 704–717. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2007.09.002>
- Whitehead, A. E., Jones, H. S., Williams, E. L., Rowley, C., Quayle, L., Marchant, D., & Polman, R. C. (2018). Investigating the relationship between cognitions, pacing strategies and performance in 16.1 km cycling time trials using a think aloud protocol. *Psychology of Sport and Exercise*, 34(1), 95–109. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2017.10.001>
- Williams, D. M., Dunsiger, S., Ciccolo, J. T., Lewis, B. A., Albrecht, A. E., & Marcus, B. H. (2008). Acute affective response to a moderate-intensity exercise stimulus predicts physical activity participation 6 and 12 months later. *Psychology of Sport and Exercise*, 9(3), 231–245. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2007.04.002>
- Williams, E. L., Jones, H. S., Andy Sparks, S., Marchant, D. C., Midgley, A. W., & Mc Naughton, L. R. (2015). Competitor presence reduces internal attentional focus and improves 16.1km cycling time trial performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(4), 486–491. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.07.003>

## 8 DISCUSSÃO GERAL DA TESE

Após a realização dos estudos programados, foi possível identificar fatores pessoais e contextuais que podem estar associados tanto ao efeito deletério da fadiga mental no desempenho físico, como no possível efeito ergogênico da ETCC. Além disso, por meio da abordagem multidisciplinar empregada, diferentes formas de manifestação da influência desses dois fatores (FM e ETCC) tanto no desempenho, quanto nas respostas psicológicas puderam ser avaliados. Contudo, se a ETCC é capaz de anular o possível efeito deletério da FM no desempenho não pode ser avaliada já que nos estudos que se propuseram a analisar essa relação, a FM não foi capaz de reduzir o desempenho físico.

### **8.1 *Fadiga Mental e Desempenho Físico***

Com relação ao desempenho físico, foi identificado que a FM foi capaz de reduzir o desempenho apenas dos atletas jovens avaliados no estudo 1. Empregando o protocolo semelhante, nem os atletas masters (estudo 2), nem os indivíduos destreinados (em ambos os delineamentos experimentais do estudo 3) tiveram o desempenho físico reduzido após o prolongado período de atividade de alta demanda cognitiva. Coletivamente, esse resultado traça importantes limites (a serem comprovados) no que diz respeito à influência negativa da fadiga mental no desempenho físico aeróbio: indivíduos destreinados, assim como em atletas de elite parecem não serem impactados por esse estado psicobiológico, e particularmente por mecanismos distintos.

No caso dos atletas, foi demonstrado que em ciclistas de elite, diferentemente de ciclistas recreativos, não houve efeito da FM no desempenho físico subsequente a uma tarefa cognitiva prolongada (MARTIN *et al.*, 2016). Os autores sugerem que esse tipo de atleta pode ter um maior controle inibitório (características cognitivas), o que resulta em uma capacidade melhorada em suprimir de forma mais eficiente, estímulos internos e externos irrelevantes à tarefa, o que foi demonstrado anteriormente (CONA *et al.*, 2015). Corroborando esse resultado, os dados qualitativos do estudo 2 confirmam essa hipótese já

que atletas os masters de natação foram capazes de adotar algum tipo de estratégia (no caso do estudo relacionada à motivação) para suprimir o efeito negativo da indução de fadiga mental e manter o desempenho em um nível similar às condições controle (sem a presença da FM).

Já com relação aos indivíduos destreinados, também não foram observadas quedas no desempenho físico aeróbio após a indução de fadiga mental. No caso dessa população específica, hipotetiza-se que essa queda poderia ser observada principalmente por meio de respostas afetivas ou perceptivas. Contudo, parece não haver espaço suficiente para a manifestação do efeito ergolítico da FM. Além disso, sendo o exercício de intensidade autorregulada e prolongado, o próprio processo decisório relacionado a regulação da intensidade do exercício já pode ser um evento cognitivamente cansativo para indivíduos destreinados (CLARK *et al.*, 2019), não sendo observado assim, um efeito somatório ao protocolo de indução de fadiga mental. De fato, conforme observado no estudo 1 (figura 1-A), os jovens atletas reportaram elevados índices de percepção de fadiga mental após o término do exercício, o que indica que esse processo de regulação de desempenho representa uma demanda cognitiva significativa.

Portanto, conjuntamente, os resultados da tese propõem que o desempenho físico aeróbio e a FM podem se relacionar por meio de um “U” invertido, em que valores extremos (menores e maiores) de capacidade aeróbica (ou aspectos ligados ao controle emocional e/ou experiência em treinamentos e competições) sofrem menor influência da FM do que valores intermediários. Ou seja, populações envolvendo pessoas fisicamente ativas, atletas recreacionais ou inexperientes podem ser mais susceptíveis ao efeito deletério da FM no desempenho físico aeróbio. Logo, sugere-se novos estudos em que características psicológicas (como controle inibitório, controle emocional, motivação intrínseca, resiliência etc.) dos participantes sejam diferenciadas com o objetivo de verificar qual é a participação dessas variáveis na relação entre FM e desempenho físico aeróbio.

## **8.2 Efeito da ETCC no desempenho físico aeróbio**

De forma semelhante ao encontrado com relação ao efeito da FM no desempenho físico aeróbio, a ETCC não foi capaz de melhorar o desempenho de atletas masters de natação (estudo 2), nem de indivíduos destreinados (ambos os delineamentos experimentais do estudo 3). Logo, infere-se que tanto aspectos pessoais quanto ambientais devem ser levados em consideração no que diz respeito ao possível efeito ergogênico da ETCC no desempenho físico aeróbio.

Dentre os fatores contextuais, a tese teve como objetivo verificar a influência da estimulação cerebral em diferentes áreas e em diferentes populações no desempenho físico e nas respostas perceptivas ao longo do exercício, já que a maior parte dos estudos até o presente momento tem focado na população de atletas e indivíduos fisicamente ativos e com a estimulação do M1 (MACHADO *et al.*, 2019). Portanto, a compreensão dos mecanismos envolvidos no possível efeito ergogênico da ETCC em outras populações e com a estimulação cerebral de outros substratos neurais envolvidos na regulação do desempenho se fazem relevantes.

A partir do exposto, foi observado de uma maneira geral, que o efeito ergogênico agudo da estimulação cerebral no desempenho aeróbio prolongado, caso exista, é pequeno, sendo dependente da área estimulada e da população em que é aplicada. Não foram observados efeitos tanto com relação à estimulação do córtex temporal em atletas (estudo 2), tampouco em indivíduos destreinados quando estimulados no PFC e no M1 (estudo 3). Com relação à população de atletas, esperava-se que de forma semelhante a estudo anterior (OKANO *et al.*, 2015), a estimulação cerebral do córtex temporal modulasse ajustes cardiovasculares e perceptivos, promovendo uma melhoria aguda do desempenho aeróbio, o que não foi observado em atletas masters de natação. Pode-se inferir que talvez a natureza da atividade (no caso do estudo

2, que envolveu a natação) tenha influenciado, já que as respostas cardiovasculares em meio aquático parecem ser diferentes daquelas obtidas fora desse meio (BAPTISTA *et al.*, 2008; MEDEIROS *et al.*, 2004). Portanto, como a estimulação do córtex temporal (mirando a ativação do córtex insular) tem como objetivo uma melhoria da resposta autonômica, elas podem não se manifestar em meio aquático. Contudo, essa hipótese ainda necessita ser testada.

Já com relação à população de indivíduos destreinados, nem a estimulação do M1 como a do PFC foram suficientes para uma melhoria aguda do desempenho. A investigação relacionada a melhoria do desempenho em indivíduos destreinados (ou apenas fisicamente ativos) é relevante pois uma melhoria do desempenho (ou melhoria da percepção de desempenho) está diretamente relacionada com maior aderência a programas de atividades físicas (BARNETT *et al.*, 2008; PAPAIOANNOU *et al.*, 2007). No melhor dos nossos esforços e baseado no estudo meta-analítico recente (MACHADO *et al.*, 2019), esse foi o primeiro estudo a investigar essa população. Dos 8 estudos identificados que investigaram o efeito da ETCC no desempenho aeróbio prolongado, 6 investigaram atletas e apenas 2 indivíduos fisicamente ativos (mais semelhantes à amostra do presente estudo). Desses 2 estudos, apenas em 1 houve melhoria do desempenho (VITOR-COSTA *et al.*, 2015). Portanto, outros estudos ainda são necessários para uma melhor compreensão do efeito da ETCC nessa população. Além disso, apenas 1 desses estudos empregou uma tarefa prolongada autorregulada (BARWOOD *et al.*, 2016), que apresenta uma validade ecológica superior aos outros testes aplicados. Portanto, ao analisarmos os resultados do estudo 2, juntamente com o estudo citado anteriormente (BARWOOD *et al.*, 2016) (que tiveram métodos e sujeitos semelhantes diferenciando-se apenas pelo substrato neural estimulada, sendo o córtex temporal no estudo supracitado e o M1 e o PFC no presente estudo), identifica-se uma baixa eficiência da ETCC em melhorar de forma aguda o desempenho aeróbio.

### **8.3 Efeito da ETCC nas medidas perceptivas ao longo do exercício**

No geral, a estimulação cerebral do córtex temporal em atletas (estudo 2), e do PFC e do M1 em indivíduos destreinados (estudo 3) não foi capaz de reduzir a percepção subjetiva do esforço (única medida perceptiva comum aos 2 estudos) quando comparada com a situação controle (sem estimulação). Hipotetizou-se que a PSE estaria reduzida por diferentes mecanismos relacionadas a estimulação de cada área: com relação ao córtex temporal, principalmente pela participação que esse substrato neural tem com relação ao controle autonômico (HILZ *et al.*, 2002) e também ligada ao controle emocional (PESSOA *et al.*, 2002) já que esse efeito foi demonstrado em estudo semelhante (OKANO *et al.*, 2015). Já com relação à estimulação do M1, hipotetizou-se que a PSE estaria reduzida devido a uma facilitação do *output* neural para a musculatura ativa, reduzindo a fadiga central (ANGIUS, L. *et al.*, 2016), ou seja, aumentando a capacidade do sistema nervoso central em recrutar unidades motoras por um período mais prolongado. Essa hipótese não se confirmou, já que não foram identificadas diferenças na PSE entre a situação com e sem presença da estimulação cerebral. Já com relação à estimulação do PFC, hipotetizou-se que ele poderia já que essa área está relacionada com processos superiores de planejamento e execução, que influencia tanto no desempenho quanto em fatores perceptivos (BRÜMMER *et al.*, 2011). Contudo, essa hipótese também não se confirmou.

Coletivamente, os resultados dos 3 estudos, por mais que envolvessem tarefas e populações distintas, demonstram que outros fatores, além dos fatores comumente citados, como os inerentes à pessoa (treinado ou destreinado) e à área de estimulação, podem estar associados à observação (ou não) de um possível efeito positivo da estimulação cerebral na redução da PSE. Por exemplo, fatores da tarefa, como as adaptações específicas ao meio aquático citados anteriormente podem ter anulado o efeito relacionado ao controle autonômico, reduzindo a possibilidade da redução da PSE por meio de um controle autonômico mais eficiente. De forma semelhante, a ETCC também parece não ter influenciado o controle emocional, já que não foram

identificadas influências da estimulação cerebral nos resultados qualitativos do estudo 2, logo, por mais que a PSE seja influenciada por fatores emocionais como a autorregulação (WAGSTAFF, 2014), parece não ser essa a via de influência da ETCC na PSE. De forma semelhante, a estimulação do M1 em tarefas prolongas não está diretamente associada a uma redução da PSE em todas as populações, assim como a estimulação do PFC pode não ser suficiente para alterar processos de regulação do desempenho que podem impactar positivamente a PSE ao longo do exercício.

## **9 CONCLUSÃO GERAL DA TESE**

Após a realização dos 3 estudos, conclui-se que a fadiga mental não é capaz de reduzir o desempenho em atletas masters de natação e em indivíduos caracterizados como destreinados, sendo esse efeito deletério observado apenas em jovens atletas de natação. Além disso, a estimulação cerebral do córtex temporal em atletas, e do M1 e do PFC em indivíduos destreinados não foi capaz de melhorar o desempenho físico aeróbio, tampouco melhora as respostas perceptivas (PSE, foco de atenção e afetividade) ao longo do exercício.

## REFERÊNCIAS

- ABBISS, Chris R.; LAURSEN, Paul B. Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. *Sports Medicine*, v. 35, n. 10, p. 865–898, 2005.
- ÅKERSTEDT, T. *et al.* Mental fatigue, work and sleep. *Journal of Psychosomatic Research*, v. 57, n. 5, p. 427–433, 2004.
- ALIX-FAGES *et al.* Short-Term Effects of Anodal Transcranial Direct Current Stimulation on Endurance and Maximal Force Production. A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Clinical Medicine*, v. 8, n. 4, p. 536, 2019.
- ANGIUS, L. *et al.* Transcranial direct current stimulation improves isometric time to exhaustion of the knee extensors. *Neuroscience*, v. 339, p. 363–375, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.10.028>>.
- ANGIUS, Luca; PASCUAL-LEONE, Alvaro; SANTARNECCHI, Emiliano. Brain stimulation and physical performance. *Sport and the Brain: The Science of Preparing, Enduring and Winning, Part C*. 1. ed. [S.l.]: Elsevier B.V., 2018. p. 317–339. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/bs.pbr.2018.07.010>>.
- BAPTISTA, S *et al.* Treadmill running and swimming imposes distinct cardiovascular physiological adaptations in the rat: focus on serotonergic and sympathetic nervous systems modulation. *Acta Physiologica Hungarica*, v. 95, n. 4, p. 365–381, dez. 2008. Disponível em: <<http://www.akademiai.com/doi/abs/10.1556/APhysiol.2008.0002>>.
- BARNETT, Lisa M *et al.* Perceived sports competence mediates the relationship between childhood motor skill proficiency and adolescent physical activity and fitness: a longitudinal assessment. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, v. 5, n. 1, p. 40, 2008. Disponível em: <<http://ijbnpa.biomedcentral.com/articles/10.1186/1479-5868-5-40>>.
- BARWOOD, Martin J *et al.* The Effects of Direct Current Stimulation on Exercise Performance, Pacing and Perception in Temperate and Hot Environments. *Brain Stimulation*, v. 9, n. 6, p. 842–849, nov. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.brs.2016.07.006>>.
- BLANCQUAERT, Laura; EVERAERT, Inge; DERAIVE, Wim. Beta-alanine supplementation, muscle carnosine and exercise performance. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, v. 18, n. 1, p. 63–70, 2015.
- BOKSEM, Maarten A.S.; MEIJMAN, Theo F.; LORIST, Monique M. Mental fatigue, motivation and action monitoring. *Biological Psychology*, v. 72, n. 2, p. 123–132, 2006.
- BOKSEM, Maarten A.S.; TOPS, Mattie. Mental fatigue: Costs and benefits. *Brain Research Reviews*, v. 59, n. 1, p. 125–139, 2008.
- BRÜMMER, V. *et al.* Primary motor cortex activity is elevated with incremental exercise intensity. *Neuroscience*, v. 181, n. 1, p. 150–162, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroscience.2011.02.006>>.
- CLARK, Ida E. *et al.* Time-trial performance is not impaired in either competitive

athletes or untrained individuals following a prolonged cognitive task. *European Journal of Applied Physiology*, v. 119, n. 1, p. 149–161, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00421-018-4009-6>>.

COFFMAN, Brian A.; CLARK, Vincent P.; PARASURAMAN, Raja. Battery powered thought: Enhancement of attention, learning, and memory in healthy adults using transcranial direct current stimulation. *NeuroImage*, v. 85, p. 895–908, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.07.083>>.

CONA, Giorgia *et al.* It's a Matter of Mind! Cognitive Functioning Predicts the Athletic Performance in Ultra-Marathon Runners. *PLOS ONE*, v. 10, n. 7, p. e0132943, 14 jul. 2015. Disponível em: <<https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0132943>>.

COUTINHO, Diogo *et al.* Mental fatigue and spatial references impair soccer players' physical and tactical performances. *Frontiers in Psychology*, v. 8, n. SEP, 2017.

CUTSEM, Jeroen Van *et al.* The Effects of Mental Fatigue on Physical Performance: A Systematic Review. *Sports Medicine*, v. 47, n. 8, p. 1569–1588, 2017.

DOMÍNGUEZ, Raúl *et al.* Effects of beetroot juice supplementation on cardiorespiratory endurance in athletes. A systematic review. *Nutrients*, v. 9, n. 1, p. 1–18, 2017.

EDWARDS, Dylan J *et al.* Transcranial Direct Current Stimulation and Sports Performance. *Frontiers in Human Neuroscience*, v. 11, n. May, p. 1–4, 10 maio 2017. Disponível em: <<http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fnhum.2017.00243/full>>.

FRANCO-ALVARENGA, Paulo Estevão *et al.* Caffeine improved cycling trial performance in mentally fatigued cyclists, regardless of alterations in prefrontal cortex activation. *Physiology and Behavior*, v. 204, p. 41–48, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2019.02.009>>.

FREGNI, Felipe *et al.* Anodal transcranial direct current stimulation of prefrontal cortex enhances working memory. *Experimental Brain Research*, v. 166, n. 1, p. 23–30, 2005.

GLAISTER, Mark; GISSANE, Conor. Caffeine and Physiological Responses to Submaximal Exercise: a meta-analysis. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, v. 13, n. 4, p. 402–411, abr. 2018. Disponível em: <<https://journals.humankinetics.com/doi/10.1123/ijsp.2017-0312>>.

HILZ, M.J. *et al.* Decrease of sympathetic cardiovascular modulation after temporal lobe epilepsy surgery. *Brain*, v. 125, p. 985–995, 2002.

KIRKENDALL, Donald. Mechanisms of peripheral fatigue. *Medicine & science in sports & exercise*, v. 22, n. 4, p. 1–5, 1990.

LATTARI, Eduardo *et al.* Can transcranial direct current stimulation improve muscle power in individuals with advanced resistance training experience? *Journal of Strength and Conditioning Research*, abr. 2017. Disponível em:

<<http://insights.ovid.com/crossref?an=00124278-900000000-96021>>.

MACHADO, Sergio *et al.* Is tDCS an Adjunct Ergogenic Resource for Improving Muscular Strength and Endurance Performance? A Systematic Review. *Frontiers in Psychology*, v. 10, n. May, 16 maio 2019. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2019.01127/full>>.

MACMAHON, Clare *et al.* Cognitive fatigue effects on physical performance during running. *Journal of sport & exercise psychology*, v. 36, n. 4, p. 375–81, 2014.

MARCORA, Samuele M; STAIANO, Walter; MANNING, Victoria. Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, v. 106, n. 3, p. 857–864, 2009.

MARTIN, Kristy *et al.* Mental fatigue does not affect maximal anaerobic exercise performance. *European Journal of Applied Physiology*, v. 115, n. 4, p. 715–725, 2015.

MARTIN, Kristy *et al.* Mental Fatigue Impairs Endurance Performance: A Physiological Explanation. *Sports Medicine*, v. 48, n. 9, p. 2041–2051, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s40279-018-0946-9>>.

MARTIN, Kristy *et al.* Superior Inhibitory Control and Resistance to Mental Fatigue in Professional Road Cyclists. *PLoS ONE*, v. 11, n. 7, p. 1–15, 2016.

MCCORMICK, Alister; MEIJEN, Carla; MARCORA, Samuele. Psychological Determinants of Whole-Body Endurance Performance. *Sports Medicine*, v. 45, n. 7, p. 997–1015, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s40279-015-0319-6>>.

MCMORRIS, Terry *et al.* Cognitive fatigue effects on physical performance: A systematic review and meta-analysis. *Physiology and Behavior*, v. 188, n. January, p. 103–107, 2018.

MEDEIROS, A *et al.* Swimming training increases cardiac vagal activity and induces cardiac hypertrophy in rats. *Brazilian journal of medical and biological research*, v. 37, n. 12, p. 1909–1917, 2004.

MEEUSEN, Romain; ROELANDS, Bart. Fatigue: Is it all neurochemistry? *European Journal of Sport Science*, v. 18, n. 1, p. 37–46, 2018.

MÖCKEL, Tina; BESTE, Christian; WASCHER, Edmund. The Effects of Time on Task in Response Selection - An ERP Study of Mental Fatigue. *Scientific Reports*, v. 5, p. 1–9, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/srep10113>>.

MOREIRA, Alexandre *et al.* Mental fatigue impairs technical performance and alters neuroendocrine and autonomic responses in elite young basketball players. *Physiology & Behavior*, v. 196, n. January, p. 112–118, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.08.015>>.

NITSCHKE, M. A. *et al.* Pharmacological modulation of cortical excitability shifts induced by transcranial direct current stimulation in humans. *Journal of Physiology*, v. 553, n. 1, p. 293–301, 2003.

NITSCHKE, M A; PAULUS, W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *Journal of Physiology*, v. 527, n. 3, p. 633–639, 2000.

OKANO, Alexandre Hideki *et al.* Brain stimulation modulates the autonomic nervous system, rating of perceived exertion and performance during maximal exercise. *British Journal of Sports Medicine*, v. 49, n. 18, p. 1213–1218, 2015.

PAPAIOANNOU, Athanasios *et al.* Causal relationships of sport and exercise involvement with goal orientations , perceived competence and intrinsic motivation in physical education : a longitudinal study. v. 0414, 2007.

PENNA, Eduardo Macedo *et al.* Mental fatigue does not affect heart rate recovery but impairs performance in handball players. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, v. 24, n. 5, p. 347–351, 2018.

PESSOA, L *et al.* Neural processing of emotional faces requires attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 99, n. 17, p. 11458–11463, 20 ago. 2002. Disponível em: <<http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.172403899>>.

PIRES, Flávio O. *et al.* Mental fatigue alters cortical activation and psychological responses, impairing performance in a distance-based cycling trial. *Frontiers in Physiology*, v. 9, n. MAR, p. 1–9, 2018.

REARDON, Sara. ‘Brain doping’ may improve athletes’ performance. *Nature*, v. 531, n. 7594, p. 283–284, 11 mar. 2016. Disponível em: <<http://www.nature.com/doi/10.1038/nature.2016.19534>>.

ROZAND, Vianney *et al.* Does mental exertion alter maximal muscle activation? *Frontiers in Human Neuroscience*, v. 8, n. September, 2014.

SMITH, Patrick J *et al.* Aerobic exercise and neurocognitive performance: *Psychosomatic Medicine*, v. 72, n. 3, p. 239–252, 2010. Disponível em: <[file:///ispwserver01/Assistenten/Projekt\\_MOMI/03 Literatur/Sport und Kognition \(Team\)/Citavi Attachments/Smith\\_2010.pdf](file:///ispwserver01/Assistenten/Projekt_MOMI/03%20Literatur/Sport%20und%20Kognition%20(Team)/Citavi%20Attachments/Smith_2010.pdf)>.

THOMAS, Rupp; STEPHANE, Perrey. Prefrontal cortex oxygenation and neuromuscular responses to exhaustive exercise. *European Journal of Applied Physiology*, v. 102, n. 2, p. 153–163, 15 nov. 2008. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00421-007-0568-7>>.

THORNDIKE, Edward. Mental Fatigue. *Science*, v. 9, n. 229, p. 2–3, 1899.

TOMPOROWSKI, Phillip D. Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta psychologica*, v. 112, n. 3, p. 297–324, mar. 2003. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12595152>>.

TUCKER, Ross; NOAKES, Tim. The physiological regulation of pacing strategy during exercise: a critical review. *British Journal of Sports Medicine*, v. 43, n. 6, p. 1–9, 2009.

VALENZUELA, Pedro L. *et al.* Transcranial direct current stimulation enhances mood but not performance in elite athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2018.

VITOR-COSTA, Marcelo *et al.* Improving Cycling Performance: Transcranial Direct Current Stimulation Increases Time to Exhaustion in Cycling. *PLOS ONE*, v. 10, n. 12, p. e0144916, 16 dez. 2015. Disponível em: <<https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0144916>>.

WAGSTAFF, Christopher R D. Emotion Regulation and Sport Performance. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, v. 36, n. 4, p. 401–412, ago. 2014. Disponível em: <<https://journals.humankinetics.com/doi/10.1123/jsep.2013-0257>>.

## ANEXOS

## Aprovação Comitê de Ética – estudo 1

Saúde  
Ministério da Saúde

Plataforma Brasil

principal sair

Público Pesquisador Alterar Meus Dados

Luciano Sales Prado - Pesquisador | V3.2

Cadastros Sua sessão expira em: 39min 48

## DETALHAR PROJETO DE PESQUISA

## - DADOS DA VERSÃO DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** Influência de diferentes tipos de fadiga no desempenho físico e tático em atletas de modalidades esportivas individuais e coletivas.

**Pesquisador Responsável:** Luciano Sales Prado

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 55286716.0.0000.5149

**Submetido em:** 10/05/2016

**Instituição Proponente:** Escola de Educação Física da Universidade Federal de Minas Gerais

**Situação da Versão do Projeto:** Aprovado

**Localização atual da Versão do Projeto:** Pesquisador Responsável

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio



Comprovante de Recepção:  PB\_COMPROVANTE\_RECEPCAO\_666072

## Aprovação Comitê de Ética – estudos 2 e 3

Saúde  
Ministério da Saúde

Plataforma  
Brasil

principal sair

Público Pesquisador Alterar Meus Dados

Luciano Sales Prado - Pesquisador | V3.2

Cadastros Sua sessão expira em: 38min 01

## DETALHAR PROJETO DE PESQUISA

## - DADOS DA VERSÃO DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** Efeito da Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC) no desempenho físico de indivíduos mentalmente fadigados

**Pesquisador Responsável:** Luciano Sales Prado

**Área Temática:**

**Versão:** 1

**CAAE:** 69475417.7.0000.5149

**Submetido em:** 05/06/2017

**Instituição Proponente:** Escola de Educação Física da Universidade Federal de Minas Gerais

**Situação da Versão do Projeto:** Aprovado

**Localização atual da Versão do Projeto:** Pesquisador Responsável

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio



Comprovante de Recepção:  PB\_COMPROVANTE\_RECEPCAO\_915447

## APÊNDICE – Atividades acadêmicas desenvolvidas durante o doutorado

### *Produção científica*

Produções oriunda da Tese:

**PENNA, E. M.**; CAMPOS, B. T.; MEDEIROS FILHO, E. S.; PIRES, D. A.; NAKAMURA, F. Y.; MENDES, T. T.; LOPES, T. R. ; SMITH, M. R. ; PRADO, L. S. Mental Fatigue Does Not Affect Heart Rate Recovery But Impairs Performance In Handball Players. *REVISTA BRASILEIRA DE MEDICINA DO ESPORTE* (ONLINE), v. 24, p. 347-351, 2018. (*Qualis – A2*)

**PENNA, E. M.**; WANNER, S. P.; CAMPOS, B. T.; FILHO, E.; MENDES, T. T.; SMITH, M. R.; PRADO, L. S. Mental Fatigue Impairs Physical Performance in Young Swimmers. *PEDIATRIC EXERCISE SCIENCE*, v. 30, p. 208-215, 2017. (*Qualis – A2*)

### 1. Colaborações – UFMG

PARMA, J. O. ; **PENNA, E. M.** . Relative Age effect in brazilian elite volleyball. *REVISTA DA EDUCAÇÃO FÍSICA/UEM* (ONLINE), v. 29, p. e2942, 2018. (*Qualis – B1*)

CAMPOS, B. T. ; **PENNA, E. M.** ; RODRIGUES, J. G. ; DINIZ, M. ; MENDES, T. T. ; FILHO, A. F. C. ; FRANCHINI, E. ; NAKAMURA, F. Y. ; PRADO, L. S. . Influence of Autonomic Control on the Specific Intermittent Performance of Judo Athletes. *JOURNAL OF HUMAN KINETICS*, v. 64, p. 99-109, 2018. (*Qualis – A2*)

OLIVEIRA, M. P. ; CAMPOS, B. T. ; ALBUQUERQUE, M. R. ; PRADO, L. S. ; SZMUCHROWSKI, L. A. ; RODRIGUES, S. A. ; DRUMMOND, M. D. M. ; **PENNA, E. M.** ; CAMPOS, D. ; COUTO, B. P. . Effect of mechanical vibration applied in the direction of the resultant muscle forces' vector addition on maximal isometric force production in judo athletes. *ARCHIVES OF BUDO SCIENCE OF MARTIAL ARTS AND EXTREME SPORTS*, v. 17, p. 127-134, 2017. (*Qualis – A2*)

MORANDI, R. F. ; PIMENTA, E. M. ; ANDRADE, A. G. P. ; SERPA, T. K. ; **PENNA, E. M.** ; COSTA, C. O. ; OLIVEIRA JUNIOR, M. N. S. ; GARCIA, E. S. . Preliminary validation of mirrored scales for monitoring professional soccer training sessions. *JOURNAL OF HUMAN KINETICS*, 2019 (*in press*). (*Qualis – A2*)

### 2. Colaborações – UFPA

OLIVEIRA, A. B. ; **PENNA, E. M.** ; PIRES, D. A. . Síndrome de Burnout em Árbitros de Futebol. *REVISTA DE PSICOLOGIA DEL DEPORTE*, v. 27, p. 31-36, 2017. (*Qualis – B1*)

PIRES, D. A. ; FERREIRA, R. W. ; VASCONCELOS, A. S. B. ; **PENNA, E. M.** . Dimensões de Burnout, Estratégias de Coping e Tempo de Prática como Atleta Federado em Jogadores Profissionais de Futebol'. *CUADERNOS DE PSICOLOGIA DEL DEPORTE*, 2019 (*in press*). (*Qualis – B1*)

PIRES, D. A. ; LIMA, P. A. ; **PENNA, E. M.** . Resiliência em atletas de artes marciais mistas. *CUADERNOS DE PSICOLOGIA DEL DEPORTE*, 2019 (*in press*). (*Qualis – B1*)

### 3. Colaborações – UFOP e UFC

OLIVEIRA, G. T., WERNECK, F. Z., COELHO, E. F., SIMIM, M. M., **PENNA, E. M.**, FERREIRA, R. M. What pacing strategy 800m and 1500m swimmers use? *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*. (in press). (*Qualis – B1*)

SIMIM, M.M. ;Renato M. F. ; **PENNA, E. M.** ; SILVA, B. V. C. . Comportamento de treinadores de futebol para amputados: estudo baseado na percepção dos atletas. *Revista Iberoamericana de Psicología del Ejercicio y el Deporte*, v. 14, p. 45-49, 2019. (*Qualis – B1*)

CAMPIDELI, T. S. ; Renato M. F. ; **PENNA, E. M.** ; COELHO, E. F. ; WERNECK, F. Z. . Efeito da idade relativa em atletas olímpicos de esportes de combate. *Motricidade*, v. 14, p. 279-286, 2018. (*Qualis –B1*)

SIMIM, M. M. ; SILVA, B. V. C. ; **PENNA, E. M.** ; Renato M. F. . O CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO PSICOSSOCIAL DE JOGADORES DE FUTEBOL PARA AMPUTADOS. *REVISTA BRASILEIRA DE FUTSAL E FUTEBOL*, v. 9, p. 221-228, 2017. (*Qualis – B4*)

SOBREIRA, D. I. ; WERNECK, F. Z. ; COELHO, E. F. ; SIMIM, M. M. ; **PENNA, E. M.** ; FERREIRA, M.F.. RELAÇÃO ENTRE O POTENCIAL ESPORTIVO DE JOVENS ALUNOS-ATLETAS E COPING. *PENSAR A PRÁTICA (ONLINE)*, 2019. (*Qualis – B2*)

### 4. Colaborações – Confederação Brasileira de Futebol (CBF)

RAMOS, G. P. ; DATSON, N. ; NAKAMURA, F. Y. ; LOPES, T. R. ; MAHSEREDJIAN, F. ; PRADO, L. S. ; COIMBRA, C. C. ; **PENNA, E. M.** . Activity profile of training and matches in Brazilian Olympic female soccer team. *SCIENCE AND MEDICINE IN FOOTBALL*, 2019 (in press). (*Qualis – Sem Classificação*)

RAMOS, G. P. ; NAKAMURA, F. Y. ; WILKE, C. F. ; MENDES, T. T. ; MAIA-LIMA, A. ; PRADO, L. S. ; GARCIA, E. S. ; **PENNA, E. M.** ; COIMBRA, C. C. . Comparison of physical fitness and anthropometrical profiles among Brazilian female soccer National teams from U15 to senior categories. *JOURNAL OF STRENGTH AND CONDITIONING RESEARCH*, 2019 (in press). (*Qualis – A1*)

RAMOS, G. P. ; NAKAMURA, F. Y. ; **PENNA, E. M.** ; WILKE, C. F. ; PEREIRA, L. A. ; LOTURCO, I. ; CAPELLI, L. ; MAHSEREDJIAN, F. ; GARCIA, E. S. ; COIMBRA, C. C. . Activity profiles in U17, U20 and senior womens Brazilian National soccer teams during international competitions. *JOURNAL OF STRENGTH AND CONDITIONING RESEARCH*, 2017 (in press). (*Qualis – A1*)

### 5. Colaboração – Minas Tênis Clube (MTC)

**PENNA, E. M.**; CAMPOS, B. T; PAVANI, G; GODINHO, G; LIMA, C.O.V; PRADO, L. S. Relative age effect and dropout causes in a multisport club setting. Is there a special reason to give up? *MOTRIZ: REVISTA DE EDUCAÇÃO FÍSICA (ONLINE)*, v. 24, p. e101801, 2018. (*Qualis – B1*)