UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA ATIVIDADE FÍSICA

PAULO ESTEVÃO FRANCO ALVARENGA

**Efeitos da ingestão de cafeína sobre o desempenho de ciclistas mentalmente fadigados
durante um teste de ciclismo contrarrelógio de 20km**

São Paulo
2018

PAULO ESTEVÃO FRANCO ALVARENGA

**Efeitos da ingestão de cafeína sobre o desempenho de ciclistas mentalmente fadigados
durante um teste de ciclismo contrarrelógio de 20km**

Versão original

Dissertação apresentada à Escola de Artes,
Ciências e Humanidades, da Universidade
de São Paulo para obtenção do título de
mestre em Ciências pelo programa de Pós-
Graduação em Ciências da Atividade
Física.

Área de Concentração:
Atividade Física, Saúde e Lazer

Orientador:
Prof. Dr. Flávio de Oliveira Pires

São Paulo

2018

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

(Universidade de São Paulo. Escola de Artes, Ciências e
Humanidades. Biblioteca) CRB 8 - 4936

Alvarenga, Paulo Estevão Franco

Efeitos da ingestão de cafeína sobre o desempenho de ciclistas
mentalmente fadigados durante um teste de ciclismo contrarrelógio de 20
Km / Paulo Estevão Franco Alvarenga ; orientador, Flávio de Oliveira Pires.
– 2018
77 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-
Graduação em Ciências da Atividade Física, Escola de Artes,
Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo
Versão original

1. Ciclismo - Desempenho. 2. Desempenho esportivo. 3. Cafeína -
Consumo ; Impacto. 4. Fadiga (Manifestações neurológicas). I. Pires,
Flávio de Oliveira, orient. II. Título

CDD 22.ed. – 796.6

Nome: ALVARENGA, Paulo Estevão Franco

Título: Efeitos da ingestão de cafeína sobre o desempenho de ciclistas mentalmente fadigados durante um teste de ciclismo contrarrelógio de 20km

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Atividade Física

Área de Concentração:

Atividade Física, Saúde e Lazer

Aprovado em: ____ / ____ / ____

Banca Examinadora

Prof. Dr.	_____	Instituição:	_____
Julgamento:	_____	Assinatura:	_____
Prof. Dr.	_____	Instituição:	_____
Julgamento:	_____	Assinatura:	_____
Prof. Dr.	_____	Instituição:	_____
Julgamento:	_____	Assinatura:	_____

Dedico esse trabalho àqueles que do céu olharam por mim Mãe e Vô Licinho (*in memoriam*) e aos presentes Tia Ligia, Eloá, Douglas, Renan, Théo, Mo, Márcia, Davison e Sensei Alexandre.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por ser bom o tempo todo. A Nossa Senhora Aparecida por estar sempre me guiando e abençoando.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Flávio de Oliveira Pires pelos ensinamentos, orientações, conselhos, exemplos e companheirismo tornando este período um processo agradável e prazeroso. Além disso, gostaria de agradecer-lo pela amizade e pelas discussões futebolísticas, políticas e filosóficas que mudaram meu modo de ver o mundo ao longo desses anos.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 pela bolsa de fomento à pesquisa.

Agradeço a FAPESP pelo financiamento do projeto 2016/16496-3 que possibilitou a realização deste estudo.

Agradeço à minha família Tia Ligia, Douglas, Renan, Théo e Mo que sempre preencheram minha vida de amor, cumplicidade, apoio, respeito, amizade e companheirismo.

Agradeço à família Abranches em especial a Eloá pelo amor, companheirismo e conselhos a mim disponíveis 24 h por dia. Assim como, agradeço aos meus sogros Davison e Márcia pela amizade e acolhimento de sempre.

Agradeço a todos amigos do GEPsE em especial Boss, Cayque, Raul (Aspira), Márcião, Felipe (Fofinho), Raul (Galeão), Kiu, Noel (Vô), Ítalo (Amuleto), Rodrigo (*made in hell*), Fabiano, Anna e Bruna que me ajudaram nas coletas de dados, análises de resultados e elaboração deste documento. Também agradeço pelos bons momentos vividos no laboratório e nos *funny moments* no Bar do Pescoço, Panela's, Churrascos da "TV Véia", Feijoadas, *Food Trucks*, Popeye e etc.

Agradeço aos professores Fernando de Oliveira, Juninho, Sensei Alexandre, Luís Carlos e Sensei Douglas Vieira que de alguma maneira colaboraram em minha evolução profissional e pessoal.

Agradeço a Prof. Dra. Florentina Hettinga pela oportunidade do estágio internacional na Universidade de Essex, sob sua supervisão. Além disso, gostaria de agradecer a recepção e ensinamentos durante este período.

Agradeço a turma da República Pé no Brejo pelos ensinamentos de longa data, em especial Evandro e Zé pelos conselhos e diálogos neste período. Assim como, agradeço aos amigos do NEPEF que sempre me incentivaram. Além disso, gostaria de lembrar em meus

agradecimentos da Inácia, Lélis, Zilda, Zélia, Job, Sandra Dias, Milton, Sandra Guida, Clélia, Ciel e Lurdinha que olham por minha Tia Ligia, durante a ausência minha e dos meus primos.

Muito obrigado!

*Você, eu, ninguém vai bater tão forte como a vida, mas
não se trata de bater forte. Se trata de quanto você
aguenta apanhar e seguir em frente, o quanto você é
capaz de aguentar e continuar tentando. É assim que se
consegue vencer.*

Trecho do filme Rocky Balboa:

RESUMO

Alvarenga, Paulo Estevão Franco. **Efeitos da ingestão de cafeína sobre o desempenho de ciclistas mentalmente fadigados durante um teste de ciclismo contrarrelógio de 20km.** 2018. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Versão original.

A literatura recente sugere que a fadiga mental piora o desempenho de atletas durante testes contrarrelógio (TT) de ciclismo. Assim o objetivo deste estudo foi verificar se a cafeína poderia reverter ou bloquear os efeitos negativos da fadiga mental em um contrarrelógio de 20km (TT_{20km}). **Métodos:** Doze ciclistas treinados, com experiência em TT há pelo menos 2 anos, e nível de performance ≥ 3 (34.3 ± 6.2 anos; 179.3 ± 5.1 cm; 77.6 ± 6.8 kg; 13.8 ± 4.5 % de gordura corporal; 58.9 ± 6.2 ml.kg⁻¹.min⁻¹; 367.0 ± 32.5 W_{PEAK}), realizaram cinco visitas ao laboratório: 1) *PRELIMINAR*: para seleção dos sujeitos e familiarização com os instrumentos; 2) *CONTROLE*: foram realizadas três contrações voluntárias isométrica máxima (CVM), cujo maior torque encontrado entre elas definirá o valor de 70% para contração voluntária isométrica submáxima (CVIS) nas sessões seguintes. Posteriormente a CVIS, foi realizado o TT_{20km} sem manipulação cognitiva ou suplementação; 3) *FADIGA MENTAL (FM)*: execução do teste de atenção sustentada (RVIP), CVIS e TT_{20km} respectivamente; 4) *PLACEBO*: ingestão da cápsula de placebo (FM + PLA) em seguida teste de RVIP, CVIS e TT_{20km}; 5) *CAFEÍNA*: ingestão de cafeína (FM + CAF), consequentemente realizaram o teste de RVIP, CVIS e o TT_{20km}). A atividade cerebral do córtex pré-frontal e córtex motor primário foi analisada por meio de eletroencefalografia (EEG) registrada antes e depois do teste RVIP. Igualmente, EEG do córtex pré-frontal e motor primário foi registrada durante uma contração voluntária isométrica submáxima, realizada antes do TT_{20km}. Para as análises de comparações entre pré e pós tarefa cognitiva de atenção sustentada utilizou-se um teste *T-student*. Para as comparações múltiplas analisou-se por modelo misto entre a condição e a distância no TT_{20km}, quando necessário o teste de Bonferroni foi utilizado. **Resultados:** CAF melhorou o desempenho em ciclistas mentalmente fadigados em ~ 1.8 % para FM e ~ 1.7 % para PLA ($p = 0.00$) e aumentou ~ 4.4 % para FM e ~ 3.6 % do que o placebo de W_{MEAN} em FM + CAF ($p = 0.00$). A ativação cortical aumentou em ~ 4.8 % nas ondas teta de EEG após teste RVIP em FM e reduziu em FM + CAF ~ 8.8 % e FM + PLA ~ 4.8 %. A razão entre PSE e W_{MEAN} foi menor em FM + CAF do que nas outras condições ($p = 0.01$). Os ciclistas apresentaram maior motivação nos primeiros 2 km em FM + CAF comparado a FM e FM + PLA ($p = 0.02$) e maior afeto nos últimos 2 km em FM e FM + CAF do que FM + PLA ($p = 0.01$). Uma menor ativação cortical durante a CVIS e uma

maior eficiência neuromuscular foi identificada na condição FM + CAF ($p = 0.03$). **Conclusão:** A CAF bloqueou os efeitos negativos da fadiga mental no CPF, melhorou o desempenho, diminuiu a PSE durante TT_{20km} e aumentou a eficiência neuromuscular.

Palavras-chave: Desempenho aeróbio. Ativação cortical. Percepção subjetiva de esforço.

ABSTRACT

Alvarenga, Paulo Estevão Franco. **Effects of caffeine intake on performance of mentally fatigued cyclists during a time-trial 20km.** 2018. 77 p. Dissertation (Master of Science) – School of Arts, Sciences and Humanities, University of São Paulo, São Paulo, 2018. Original version.

Recent literature suggests that mental fatigue worsens the performance of athletes during time trial (TT) cycling tests. Thus, the aim of this study was to verify if caffeine could reverse or block the negative effects of mental fatigue in a TT of 20km (TT_{20km}). **Methods:** Twelve trained cyclists with experience in TT for at least 2 years, and performance level > 3 (34.3 ± 6.2 years, 179.3 ± 5.1 cm, 77.6 ± 6.8 kg, 13.8 ± 4.5 % body fat 58.9 ± 6.2 ml $\cdot$ kg⁻¹ $\cdot$ min⁻¹; 367.0 ± 32.5 W_{PEAK}), carried out five visits at laboratory: 1) *PRELIMINARY*: for selection of subjects and familiarization with the instruments; 2) *CONTROL*: three maximal isometric voluntary contractions (CVM) were performed, the highest torque found between them will define the value of 70% for voluntary isometric submaximal contraction (CVIS) in the following sessions. After the CVIS, the TT_{20km} will be performed without cognitive manipulation or supplementation; 3) *MENTAL FATIGUE (FM)*: execution of the sustained attention test (RVIP), CVIS and TT_{20km} respectively; 4) *PLACEBO*: placebo capsule intake (FM + PLA) then RVIP, CVIS and TT_{20km} test; 5) *CAFFEINE*: caffeine intake (FM + CAF), consequently performed the RVIP, CVIS and TT_{20km} tests). Brain activity of the prefrontal cortex and primary motor cortex will be analyzed by electroencephalography (EEG) recorded before and after the RVIP test. Likewise, EEG of the prefrontal cortex and primary motor will be recorded during a submaximal isometric voluntary contraction, performed before TT_{20km}. For the analysis of comparisons between pre and post cognitive task of sustained attention was used a *T-student* test. For the multiple comparisons, the mixed model was analyzed for the condition and the distance in the TT_{20km}, and the best matrix was identified for each case, when necessary the Bonferroni test was used. **Results:** CAF improved performance in mentally fatigued cyclists at ~ 1.8 % for FM and ~ 1.7 % for PLA ($p = 0.00$) and increased $\sim 4.4\%$ for FM and $\sim 3.6\%$ than W_{MEAN} on FM + CAF ($p = 0.00$). Cortical activation increased by ~ 4.8 % in the theta EEG waves after RVIP test in FM and reduced in FM + CAF ~ 8.8 % and FM + PLA ~ 4.8 %. The ratio of RPE to W_{MEAN} was lower in FM + CAF than in other conditions ($p = 0.01$). The cyclists started the TT_{20km} more motivated in first 2 km ($p = 0.02$) and finished with more pleasure in the last 2km in FM and FM + CAF than in FM + PLA ($p = 0.01$). Lower cortical activation during CVIS and greater neuromuscular efficiency was identified in the FM + CAF condition

($p = 0.03$). **Conclusion:** CAF blocked the negative effects of mental fatigue on CPF, improved performance, decreased PSE over TT20km and increased neuromuscular efficiency.

Keywords: Endurance performance. Cortical activation. Rates of perception of effort.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desenho experimental representando as visitas FM + PLA e FM + CAF.....	32
Figura 2 - Diferença percentual no desempenho de tempo e W_{MEDIA} em relação ao Controle....	43
Figura 3 - Ativação do CPF	44
Figura 4 - Tempo de exaustão na CVIS	49
Figura 5 - Eficiência neuromuscular	49
Figura 6 - Ativação cortical das ondas teta em Fp1 durante a CVIS	50
Figura 7 - Ativação de ondas alfa na derivação Fp1 durante a CVIS	51
Figura 8 - Ativação das ondas alfa na derivação Cz durante a CVIS	52
Figura 9 - Estratégia de ritmo adotada em cada condição	53
Figura 10 - Comportamento da percepção subjetiva do esforço e razão percepção de esforço pela potência	54
Figura 11 - Respostas psicológicas de ativação, motivação e afeto	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Alterações psicológicas pós tarefa cognitiva de atenção sustentada	46
Tabela 2 - Resultados do questionário de POMS pós tarefa cognitiva de atenção sustentada ...	47
Tabela 3 - Resultados das variáveis de desempenho cognitivo no teste de RVIP	48

LISTA DE ABREVIATURAS

ADP	Adenosina difosfato
AMP	Adenosina monofostato
ATI	Ativação
ATP	Adenosina trifosfato
CAF	Cafeína
CPF	Córtex pré-frontal
CVS	Contração Voluntária Máxima
CVIS	Contração Voluntária Submáxima
DTH	Distúrbio Total de Humor
EEG	Eletroencefalografia
EMG	Eletromiografia
ENM	Eficiência neuromuscular
FC	Frequência cardíaca
FM	Fadiga mental
FM + CAF	Sessão fadiga mental com ingestão de cafeína
FM + PLA	Sessão fadiga mental com ingestão de placebo
FS	Escala de afeto “ <i>Feeling Scale</i> ”
MOT	Motivação
PLA	Placebo
PSE	Percepção subjetiva de esforço
PSE _w	Razão percepção subjetiva do esforço pela potência média
RMS	Razão das médias dos quadrados
RVIP	<i>Rapid Visual Information Processing</i>
SNC	Sistema nervoso central
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TT	Contrarrelógio
VAS	Escala analógica visual
VO ₂	Consumo de oxigênio
VO ₂ MÁX	Consumo máximo de oxigênio
W _{MÉDIA}	Potência mecânica média
W _{PICO}	Potência mecânica pico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Fadiga Mental e Desempenho no Ciclismo	20
1.2 Mecanismo da Fadiga Mental	22
1.3 Ingestão de Cafeína e Fadiga Mental.....	23
2 OBJETIVO E HIPÓTESES	27
2.1 Objetivo	27
2.2. Hipótese	27
3 MÉTODOS.....	28
3.1 Seleção da amostra	28
3.2 Desenho experimental	29
3.3 Composição Corporal	30
3.4 Registro do consumo de cafeína	31
3.5. Protocolo de ingestão de cafeína	31
3.6 Protocolo de tarefa cognitiva de atenção sustentada	32
3.7 Contração Voluntária Isométrica Submáxima (CVIS).....	32
3.8 Teste contrarrelógio de 20 km	33
4 INSTRUMENTOS E MEDIDAS	34
4.1 Desempenho	34
4.2 Eletroencefalografia (EEG)	34
4.2.1 <i>Análise do sinal de EEG pré e pós teste de RVIP</i>	34
4.2.2 <i>Análise do sinal de EEG durante a CVIS.</i>	35
4.2.3 <i>Análise da eficiência neuromuscular</i>	35

4.3 Medidas psicológicas.....	36
4.4 Análise estatística	37
5 RESULTADOS	40
5.1 Efeitos da fadiga mental na ativação do CPF, respostas psicológicas e desempenho no TT _{20km}	40
5.2 Efeitos da cafeína no EEG, respostas psicológicas e desempenho cognitivo em ciclistas mentalmente fatigados	42
5.3 Efeitos da cafeína sobre eficiência neuromuscular e ativação cortical na CVIS..	46
5.4 Efeitos da cafeína no desempenho e ritmo do TT _{20km} em ciclistas mentalmente fatigados	50
5.5 Efeitos da cafeína em respostas psicológicas de TT _{20km} em ciclistas mentalmente fatigados.....	51
6 DISCUSSÃO	55
6.1 Confirmando os efeitos de fadiga mental na ativação do PFC e no desempenho do TT _{20km}	55
6.2 Efeitos da cafeína nas respostas à tarefa de alta demanda cognitiva.....	56
6.3 Efeitos da cafeína na ativação cortical e neuromuscular	57
6.4 Efeitos da cafeína no desempenho do TT _{20km} e respostas psicológicas em ciclistas mentalmente fatigados.....	58
6.5 Efeito placebo no TT _{20km} em ciclistas mentalmente fatigados	59
6.6 Limitações do estudo e aplicações práticas	60
7 CONCLUSÃO.....	62
REFERÊNCIAS	63

ANEXO A – ESCALA DE PERCEPÇÃO SUBJETIVA DO ESFORÇO	71
ANEXO B – QUESTIONÁRIO DE HUMOR	72
ANEXO C – ESCALA VISUAL ANALÓGICA.....	73
ANEXO D – ESCALA DE ATIVAÇÃO	74
ANEXO E – ESCALA DE AFETO	75
ANEXO F – QUESTIONÁRIO DE CONSUMO DE CAFEÍNA	76

1 INTRODUÇÃO

Desde o estudo de Foster et al. (1993), testes de ciclismo contrarrelógio (TT) têm se tornado uma estratégia comumente utilizada para avaliar o desempenho físico de atletas em modalidades que envolvem o ciclismo. Além de prover resultados com alto grau de confiança e baixo coeficiente de variação (CURRELL; JEUKENDRUP, 2008), acredita-se que este tipo de teste reproduza melhor o que ocorre durante uma sessão de treinamento ou competição em modalidades como o ciclismo, principalmente quando o TT é referenciado pela distância (ABBISS et al., 2016a). Além do desempenho físico, um dos aspectos atraentes do uso de TT é a análise das estratégias usadas na distribuição do ritmo de prova (*Pacing Strategy*), uma vez que tanto o conhecimento popular quanto evidências científicas têm sugerido uma associação entre a forma de distribuição do ritmo de prova e o desempenho (DE KONING et al., 2011; HETTINGA et al., 2006; VAN INGEN SCHENAU; DE KONING; DE GROOT, 1992).

O uso de diferentes estratégias para distribuição do ritmo é entendido como a busca da maneira mais eficiente do atleta distribuir sua energia durante a prova, decidindo se irá aumentar, reduzir ou manter o ritmo de acordo com suas condições fisiológicas e psicológicas (DE KONING et al., 2011; FOSTER et al., 2003). Desde o estudo pioneiro de Ulmer (1996), sugere-se que a estratégia de distribuição do ritmo seja tomada a partir de um mecanismo antecipatório, com ajustes contínuos ao longo do exercício. Independentemente do modelo que possa ser usado para explicar *pacing strategy*, é sugerido que o ritmo do atleta possa ser modulado por suas respostas perceptivas durante o exercício (RENFREE et al., 2014; SMITS; PEPPING; HETTINGA, 2014; PAGEAUX et al., 2014). Enquanto um modelo assume que a estratégia seja regulada a partir da relação entre percepção do esforço e motivação potencial para alcançar o desfecho da prova (PAGEAUX et al., 2014), outros, mais complexos, assumem que esta regulação seja formada a partir da interpretação de um conjunto de informações fisiológicas e biomecânicas (interoceptivas), ambientais e contextuais (exteroceptivas), e também psicológicas (SMITS; PEPPING; HETTINGA, 2014; RENFREE et al., 2014). Neste caso, as respostas destes diferentes sistemas seriam captadas pelo sistema nervoso central (SNC) durante a prova, por meio de sinalização aferente, assim informando o SNC das condições do organismo durante o exercício (HETTINGA et al., 2017; NOAKES, 2004; SMITS; PEPPING; HETTINGA, 2014; ST CLAIR GIBSON; SWART; TUCKER, 2017). Desta forma, o SNC regularia o ritmo de exercício (HETTINGA et al., 2017; MICKLEWRIGHT et al., 2016; RENFREE et al., 2014) por meio de uma modulação baseada na avaliação da relação custo/benefício em relação à

recompensa futura de continuar o exercício (ROBERTSON; MARINO, 2016; SMITS; PEPPING; HETTINGA, 2014).

Dentro da perspectiva de tomada de decisão no ritmo de exercício, destaca-se a importância do controle cognitivo o qual pode ser operado por dois modos distintos: o controle pró ativo e o controle reativo (BRICK; MACINTYRE; CAMPBELL, 2016). O controle pró ativo ocorre de forma antecipada ao estímulo que irá ocorrer durante a prova, sendo orientado a alcançar previamente o objetivo imposto pela informação externa que irá ocorrer, através da atenção/foco e percepções (por exemplo, percepção de esforço) (BRAVER, 2012). Em contraste, o controle reativo ocorre de maneira mais automática e urgente de acordo com estímulo, exigindo controle somente se necessário (BRAVER, 2012). Desta maneira, é sugerido que o controle pró ativo exija mais recursos cognitivos (i.e. memória, controle inibitório, foco, atenção), enquanto o controle reativo necessitaria de uma melhor resposta a estímulos rápidos (BRAVER, 2012; BRICK; MACINTYRE; CAMPBELL, 2016). Portanto, na perspectiva de tomada de decisão para controle e regulação do ritmo de exercício, funções executivas que agem no controle cognitivo como controle inibitório, foco, memória e atenção seletiva são fundamentais para manter a estratégia de prova tanto em condições normais quanto em situações de adversidade (BRICK et al., 2016; MARTIN et al., 2016; MICKLEWRIGHT et al., 2016).

1.1 Fadiga Mental e Desempenho no Ciclismo

Funções cognitivas são fundamentais no processo de tomada de decisão, pois em geral são responsáveis por definir o objetivo, criar uma estratégia para alcançá-lo, avaliar o plano, identificar novas estratégias, e se necessário, executar a ação (DIAMOND, 2013). De modo geral as funções executivas são subdivididas em controle inibitório, memória de trabalho e flexibilidade cognitiva (DIAMOND, 2013). Destaca-se a importância do controle inibitório no desempenho de ciclistas, pois é considerado que o domínio principal do controle executivo seja um fator determinante do sucesso esportivo, uma vez que controla a atenção, o comportamento, o pensamento e/ou emoção para sobrepor uma forte predisposição interna ou atração externa e adaptar-se a situações conflituosas (BRICK; MACINTYRE; CAMPBELL, 2016; DIAMOND, 2013; MARTIN et al., 2016). O controle inibitório pode ser subdividido em: controle da atenção (envolvendo aspectos como a foco e atenção seletiva) e a inibição cognitiva (relacionada com a capacidade de inibir e selecionar pensamentos e memórias específicas) (DIAMOND, 2013). Estas subdivisões em conjunto ao componente de inibição de respostas permitem, de fato, a tomada de decisão do indivíduo mediante ao ambiente (DIAMOND, 2013; MOTES et al., 2014).

Contudo, alterações e manipulações que possam afetar estas funções cognitivas poderiam comprometer a tomada de decisão, estratégia de ritmo e o desempenho durante um TT. Um fenômeno que poderia interferir na capacidade de um atleta regular seu ritmo de exercício durante um TT é a fadiga mental (FM) (SILVA-JÚNIOR et al., 2016; VAN CUTSEM et al., 2017a). A FM é caracterizada por uma sensação de “falta de energia e cansaço” decorrente de uma atividade cognitiva sustentada, tornando-se uma ameaça ao desempenho do indivíduo, principalmente durante o processo de tomada de decisão, visto a necessidade mediante às situações que requeiram memória, controle inibitório e foco, tais como num TT (MARTIN et al., 2016; SMITS; PEPPING; HETTINGA, 2014; VAN DER LINDEN; FRESE; MEIJMAN, 2003). De fato, estudo recente de Martin e colaboradores (2016) demonstrou que ciclistas recreativos mentalmente fadigados percorreram menor distância em um TT fechado pelo tempo (20 minutos), e apresentaram uma maior percepção de esforço ao produzir a mesma potência mecânica, quando comparados a sessão controle. Entretanto, o mesmo não ocorreu com os ciclistas profissionais. Segundo os autores, ciclistas menos treinados possuem menor controle inibitório quando comparado aos profissionais, uma vez que os ciclistas profissionais apresentaram melhor desempenho cognitivo que os recreativos. Tais achados corroboraram resultados anteriores em corrida contrarrelógio de 5 km (PAGEAUX et al., 2014a), pois foi observada queda no desempenho e maior percepção subjetiva de esforço (PSE) quando os corredores estavam mentalmente fadigados. Um resultado interessante deste estudo é que não foram encontradas alterações em respostas fisiológicas como a frequência cardíaca (FC) ou concentrações de lactato sanguíneo. Adicionalmente, Pires et al., (2018a) encontraram uma redução de ~2,7% no desempenho de ciclistas mentalmente fadigados durante um TT de 20 km (TT_{20km}). Juntos, estes estudos sugerem que possíveis alterações com a instalação da FM poderiam modificar a maneira com que o sujeito percebe o exercício, possivelmente provocando alterações na distribuição do ritmo de exercício (MARCORA; STAIANO; MANNING, 2009; MARTIN et al., 2016; PAGEAUX et al., 2014b; PIRES et al., 2018a).

A FM é uma consequência de tarefas com altas e prolongadas demandas cognitivas e, como resultado, gera uma queda do desempenho motor durante tarefa física subsequente (BOKSEM; TOPS, 2008; SILVA-JÚNIOR et al., 2016). Este fato traz um aspecto aplicado importante, visto que o aumento das demandas cognitivas no cotidiano pode, provavelmente, induzir à FM e comprometer a execução de diversas tarefas subsequentes. (BOKSEM; TOPS, 2008; RICCI et al., 2007). No contexto do desempenho atlético, a instalação de FM poderia comprometer o desempenho de ciclistas iniciantes e/ou recreativos, pois poderia afetar as funções executivas como controle inibitório e planejamento motor, importantes para a execução

de um TT de ciclismo (ISHII; TANAKA; WATANABE, 2014a; VAN DER LINDEN; FRESE; MEIJMAN, 2003). Ademais, sujeitos mentalmente fadigados apresentam variações na ativação cortical em regiões frontais e centrais, responsáveis pelo planejamento motor, integração de respostas aferentes e emocionais, além da regulação do comando motor (ISHII; TANAKA; WATANABE, 2014b; WANG et al., 2016). Adicionalmente, mostrou-se na literatura que a FM afeta negativamente respostas psicológicas, tais como a PSE, humor, sensação de energia e motivação (AZEVEDO et al., 2016; ISHII; TANAKA; WATANABE, 2014b; MARCORA; STAIANO; MANNING, 2009). Visto que o treinamento no ciclismo recreativo (não profissional) envolve rotinas diárias de treinamento físico com alto volume, juntamente com rotinas diárias que misturam jornada de trabalho, vida pessoal, deslocamento, etc., poderia ser esperada a presença de FM nestes atletas não profissionais, resultando em um possível prejuízo no desempenho em sessões de treino e ou competição.

1.2 Mecanismo da Fadiga Mental

A FM parece estar associada ao elevado consumo energético do SNC, o qual aumenta a degradação de adenosina trifosfato (ATP) e, conseqüentemente, a formação de adenosina difosfato (ADP) e adenosina monofosfato (AMP) (DUNWIDDIE; MASINO, 2001; LOVATT et al., 2012; QI et al., 2017). Acredita-se que o possível mecanismo do aumento das concentrações de adenosina cerebral é capaz de explicar o fenômeno da FM. A adenosina é uma purina responsável pela regulação de certos órgãos como o cérebro e coração, modulando o funcionamento de seus respectivos sistemas, além de agir como um neurotransmissor inibitório nas membranas pré-sinápticas (DUNWIDDIE; MASINO, 2001). Adicionalmente, a CAF possui uma função neuromoduladora, que devido à alta afinidade com os receptores da adenosina cerebral A₁ e A₂, ela se une aos mesmos receptores e facilita a transmissão dos neurotransmissores excitatórios (dopamina e serotonina) na fenda pré e pós sináptica, aumentando a excitabilidade neuronal em regiões corticais ligadas ao planejamento e execução motora (DUNWIDDIE; MASINO, 2001; KALMAR; CAFARELLI, 2004).

Como consequência do acúmulo de adenosina neuronal, parece haver alterações no padrão de ativação cerebral. Por exemplo, atividades mentais que exigem alta demanda cognitiva parecem produzir um predomínio de ondas de baixa frequência (onda teta entre 4 e 7 Hz, e onda alfa entre 8 e 13 Hz) em regiões do córtex motor, córtex frontal e parietal, com diminuição de ondas de maior frequência nessas regiões (onda beta, entre 13 e 30 Hz)

(BARWICK; ARNETT; SLOBOUNOV, 2012; WASCHER et al., 2014). Dessa maneira, é possível que um mecanismo chave para explicar a queda no desempenho físico sob FM seja a “lentificação” na ativação de áreas relacionadas à execução e planejamento motor, tomada de decisão e geração de emoções, tais como as regiões do córtex motor primário, frontal e pré-frontal, respectivamente (BUSH; LUU; POSNER, 2000; MARCORA; STAIANO; MANNING, 2009). De fato, a queda na ativação de regiões do córtex frontal ou motor primário tem sido relacionada à tolerância ao esforço em diferentes modelos de exercício aeróbio máximo (PIRES et al., 2016).

Como consequência a esta alteração na atividade cortical, alguns estudos têm sugerido que sujeitos mentalmente fadigados reduzam o desempenho, percebam maior esforço e apresentem alterações em respostas perceptivas quando comparados a condições controle (INZLICHT; MARCORA, 2016; ISHII; TANAKA; WATANABE, 2014b; MARCORA; STAIANO; MANNING, 2009; SILVA-JÚNIOR et al., 2016). Por exemplo, estudo de Pires et al. (2018a) observou que ciclistas recreativos mentalmente fadigados submetidos a um teste TT_{20km} apresentaram um aumento de ~2,7% no tempo de teste e uma redução na potência mecânica média de ~ 6,5%, além de maior incremento na PSE ao longo do TT. Alterações pontuais (i.e., efeitos de interação entre FM e distância) foram detectadas no início do TT (6 km iniciais) em variáveis como motivação, foco no exercício e ativação. A FM alterou as respostas de humor, pois houve redução no vigor, aumento na tensão, confusão mental e distúrbio total de humor. Além disso, redução no afeto¹ também foi detectada. Um achado importante deste mesmo estudo foi a “lentificação” das ondas cerebrais, observada em regiões corticais envolvidas no planejamento motor e tomada de decisão, as quais ocorreram ao longo do teste cognitivo e permaneceram ao longo do TT. Desta forma, resultados deste estudo indicam que a perda de desempenho físico causada pela FM pode estar relacionada à “lentificação” da atividade cerebral, com uma possível consequentemente alteração em respostas perceptivas/psicológicas.

1.3 Ingestão de Cafeína e Fadiga Mental

Uma abordagem potencialmente capaz de atenuar os efeitos “negativos” da FM sobre o desempenho físico é a suplementação com cafeína (CAF). A literatura é vasta ao demonstrar que a suplementação aguda com CAF pode melhorar o desempenho em diferentes modelos de

¹ Variável afeto correspondente ao questionário de humor, diferente da escala de valência afetiva proposta por (HARDY; REJESKI, 1989)

exercício (BRIETZKE et al., 2017; DE MORREE; KLEIN; MARCORA, 2014; DESBROW et al., 2012; GOLDSTEIN et al., 2010; MEEUSEN; ROELANDS; SPRIET, 2013). Por exemplo, Astorino et al., (2012) realizaram dois testes a fim de confirmar resultados semelhantes da suplementação de CAF em um teste TT de 10km; seus resultados apontam melhoras de 1,6% e 1,9% no tempo de prova dos sujeitos comparados à sessão placebo (PLA). Glaister et al., (2015) testaram os efeitos de diferentes substâncias ingeridas de forma isolada e combinada sobre o desempenho de ciclistas em um TT_{20km}, sendo que uma das sessões consistia na ingestão de CAF isolada. Os resultados deste estudo apontaram melhora no tempo de prova após uso de CAF comparada à sessão PLA ($34,6 \pm 1,3$ e $35,4 \pm 1,7$ respectivamente).

No caso da FM, um aspecto atraente no uso da CAF está na sua ação como antagonista dos receptores de adenosina, com seu potencial em reduzir a ação da adenosina no SNC (DAVIS et al., 2003; KALMAR; CAFARELLI, 2004; ZHENG; HASEGAWA, 2016). A CAF facilita o mecanismo pré e pós-sináptico, atuando na inibição do mecanismo da adenosina (FREDHOLM et al., 1999). Nas membranas pré-sinápticas a adenosina impede a liberação de neurotransmissores como a dopamina e serotonina pela ligação do receptores A₁, contudo a CAF inibe a ação da adenosina e aumenta a ação desses neurotransmissores excitatórios (FREDHOLM et al., 1999; KALMAR; CAFARELLI, 2004). Na fenda pós-sináptica a adenosina se liga aos receptores A₂ e evita que a dopamina se ligue ao seu receptor, porém, a ligação da CAF a este receptor evita a ação da adenosina, assim, permitindo a transmissão dopaminérgica (FREDHOLM et al., 1999; KALMAR; CAFARELLI, 2004). De fato, o aumento do drive neural para os músculos esqueléticos tem sido proposto como o principal mecanismo pelo qual a suplementação com CAF consiga melhorar o desempenho motor, ainda que mecanismos periféricos como o aumento do fluxo glicolítico e oxidação mitocondrial não possam ser descartados (CHESLEY et al., 1998; TARNOPOLSKY; CUPIDO, 2000).

Desta maneira, a utilização de suplementação com CAF antes e durante a realização de um exercício físico prolongado poderia ser interessante, uma vez que a desativação de regiões corticais (central e frontal) quando da instalação da FM poderia ser atenuada e/ou revertida mediante a suplementação de CAF. É importante reforçar que se espera uma modulação da atividade no córtex central, frontal e parietal, com um aumento da potência espectral das ondas de baixa frequência (teta e alfa) em condições de FM (BARWICK; ARNETT; SLOBOUNOV, 2012; WASCHER et al., 2014). Por outro lado, uma resposta na direção contrária poderia ser esperada com a ingestão de CAF. Por exemplo, De Pauw et al. (2015) observaram um aumento da potência espectral em ondas de alta frequência (beta) em regiões

frontais, como o córtex pré-frontal dorsolateral e o córtex orbito frontal, ambas regiões envolvidas em planejamento motor e tomada de decisão. Juntamente com outros estudos envolvendo a ingestão de CAF e medidas de EEG, este resultado suporta, ao menos parcialmente, um aumento da ativação de regiões do córtex frontal com a ingestão de CAF, ou por um aumento da potência espectral de ondas de alta frequência (beta) (DE PAUW et al., 2015; HASENFRATZ; BÄTTIG, 1994; SIEPMANN; KIRCH, 2002), ou pela redução da potência espectral de ondas de baixa frequência (teta e alfa) (DESLANDES et al., 2004). É possível que tal modificação esteja associada ao aumento da conectividade funcional do tecido neuronal (HALLER; FREUND, 2013) como as alterações na amplitude e latência do potencial motor-relacionado (P300) quando da ingestão de CAF (DE MORREE; KLEIN; MARCORA, 2014; DESLANDES et al., 2004). Neste caso, é interessante notar que tais modificações da conectividade funcional poderiam justificar alguns resultados, demonstrando redução na atividade de regiões corticais frontais e centrais medidas por EEG (SIEPMANN; KIRCH, 2002), pois a menor ativação cortical registrada com EEG após a ingestão de CAF estaria ligada a um aumento da excitabilidade neuronal, uma vez que ela aumenta a polarização e sensibilidade de neurônios. Assim, a melhor eficiência sináptica levaria a uma menor ativação cortical necessária (CERQUEIRA et al., 2006; DE MORREE; KLEIN; MARCORA, 2014). Desta forma, a maior excitabilidade neuronal com a ingestão de CAF implicaria numa menor ativação necessária para a realização de uma mesma tarefa motora (CERQUEIRA et al., 2006; DE MORREE; KLEIN; MARCORA, 2014; KEANE; JAMES; HOGAN, 2007; SIGMON et al., 2009).

Como citado anteriormente, a ação central da CAF e suas respostas na ativação cortical são conhecidas, entretanto, poucos estudos investigaram os efeitos de sua ingestão ao longo da execução de um teste cognitivo de atenção sustentada que possa induzir FM (DE PAUW et al., 2015; DESLANDES et al., 2004). Na mesma linha, um único estudo que se propôs a investigar os efeitos da CAF durante exercício realizado sob FM foi o de Azevedo et al., (2016). Os autores observaram que sujeitos mentalmente fatigados reduziram o tempo de exaustão num teste de carga constante em ~ 8%, quando comparado ao controle. Contudo, mesmo mentalmente fadigados esses sujeitos aumentavam o desempenho em ~ 20% após o consumo de CAF. Entretanto, até o momento, não se sabe como a ingestão de CAF poderia atenuar ou reduzir os efeitos da FM sobre o desempenho, estratégia de ritmo e respostas psicológicas de ciclistas não profissionais, ao longo de testes de ciclismo como um TT referenciado pela distância. Sendo assim, uma das hipóteses do presente estudo é que a suplementação aguda com CAF atenuaria e/ou reverteria a lentificação da ativação em áreas cerebrais acometidas pela

fadiga mental, preservando assim, um melhor desempenho motor. Tal proposta possui grande aplicabilidade e relevância prática, pois atletas costumam reportar intenso cansaço mental durante treinamentos ou competições (YEUNG, 1996).

2 OBJETIVO E HIPÓTESES

2.1 Objetivo

O presente projeto tem como objetivo, investigar os efeitos da ingestão aguda de cafeína sobre o desempenho físico e distribuição do ritmo, durante um teste de ciclismo contrarrelógio de 20km realizado sob fadiga mental. Em adição, foi verificada se a ingestão de cafeína atenua uma provável “lentificação” da ativação cortical em regiões ligadas ao planejamento motor e tomada de decisão, assim como execução motora; neste caso, o córtex pré-frontal e motor primário, respectivamente. Os efeitos da fadiga mental diferentes respostas psicológicas também foi investigado.

2.2. Hipótese

Visto a alteração cortical provocada pelo estado de fadiga mental e consequente perda de desempenho físico e motor, espera-se que ação central da cafeína possa reverter os efeitos deletérios da fadiga mental sobre o desempenho e ativação cortical.

3 MÉTODOS

3.1 Seleção da amostra

Foi realizado o cálculo amostral, assumindo um tamanho de efeito moderado (Cohen $f = 0,25$) para comparações múltiplas intra ($n = 10$ medidas) e entre sujeitos (4 grupos), com correlação entre as medidas repetidas ($r = 0,90$), resultou em número amostral de 12 sujeitos. Contudo, assumindo uma perda amostral de aproximadamente 10% durante os procedimentos experimentais foi estimado um número inicial de 15 sujeitos (software G Power 3.1.9.2). Logo, foram convidados a participar do estudo. Assim, 15 ciclistas homens com idade entre 18 e 40 anos, foram convidados a participar do estudo. Os participantes deveriam ter experiência em provas de ciclismo contrarrelógio há pelo menos 2 anos, além de apresentar um nível de performance ≥ 3 , com $VO_{2MÁX} \geq 55 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, de acordo com classificação sugerida na literatura (DE PAUW et al., 2013). Além disso, foi critério de inclusão, que os mesmos tivessem concluído o 2º grau da formação escolar formal na ocasião em que o estudo for conduzido. Este último critério foi necessário para assegurar que os voluntários tivessem compreensão e familiarização com o teste cognitivo de atenção sustentada. Por fim, como critérios de exclusão estão a presença de problemas neuromusculares, cardiopulmonares, visuais e auditivos, ou de qualquer outra natureza que possa impedir a realização de esforço máximo ou teste cognitivo.

A participação do estudo foi voluntária e realizada somente após a assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE). Todos os procedimentos foram previamente submetidos e aprovados pelo comitê de ética da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (2.054.760). Atendidos estes critérios iniciais de inclusão, os sujeitos passaram por uma seleção durante a qual deveriam comparecer ao laboratório e realizar um TT_{20km}, com o objetivo de executar seu melhor desempenho na tarefa. Foram incluídos no estudo, de fato, aqueles que obtiveram o tempo menor ou igual a 33 minutos nesta sessão. Este valor foi empregado com o objetivo de homogeneizar a amostra, baseado em estudos anteriores da literatura e do nosso grupo (BORTOLOTTI et al., 2014; PINHEIRO; SANTOS; PIRES, 2016; SILVA et al., 2014), avaliando ciclistas recreativos, treinados, que se encaixavam na classificação proposta por De Pauw e colaboradores (2013) (nível de performance ≥ 3).

3.2 Desenho experimental

Durante o estudo, os indivíduos realizaram cinco visitas ao laboratório para a execução das seguintes sessões: 1) *PRELIMINAR*: os sujeitos realizaram um TT_{20km} para familiarização e, em seguida, foram inicialmente familiarizados com os procedimentos e instrumentos envolvendo medidas de EEG, eletromiografia (EMG), tarefa mental, contração voluntária isométrica máxima (CVM) e contração voluntária isométrica submáxima (CVIS), e escalas psicológicas; 2) *CONTROLE*: previamente ao início da visita, foi realizada uma avaliação antropométrica, então os selecionados na visita preliminar foram familiarizados com tarefa cognitiva de atenção sustentada, o *Rapid Visual Information Processing* (RVIP) durante 5 minutos e, em seguida, realizaram 3 CVM em extensão de joelhos para obtenção do maior valor de torque. Posteriormente, foi realizada uma CVIS até a falha, a 70% do torque do maior valor encontrado entre as 3 CVM. Por fim, os ciclistas realizaram um TT_{20km}; 3) *FADIGA MENTAL (FM)*: os ciclistas realizaram o teste RVIP, em seguida executaram uma CVIS até a falha e, logo após deram início ao TT_{20km}; 4) *PLACEBO (MF + PLA)*: os indivíduos ingeriram a cápsula de PLA e realizando posteriormente o teste RVIP. Feito isso, executaram uma CVIS e, subsequentemente, o TT_{20km}; 5) *CAFEÍNA (MF + CAF)*: foi dado aos sujeitos uma cápsula de CAF imediatamente antes do início o teste RVIP, em seguida executaram uma CVIS e, depois, iniciou-se o TT_{20km}.

O estudo teve caráter transversal, *crossover*, contrabalanceado e com arranjo duplo cego. Desta maneira, todos os indivíduos realizaram as tarefas com todas as manipulações, sem que o pesquisador nem os indivíduos soubessem quando foi administrada a cápsula contendo CAF ou PLA. As sessões foram realizadas respeitando um intervalo mínimo e máximo de 3 e 7 dias, respectivamente, com medidas das seguintes variáveis dependentes durante o TT_{20km}: FC, potência mecânica, tempo para completar os 20 km, PSE, FS, MOT e ATI. Durante as visitas FM, FM + PLA e FM + CAF, nos momentos que antecedem e subsequentes à execução do teste RVIP, foi feita a aquisição do EEG em repouso absoluto por 5 minutos. A aquisição da atividade cerebral também foi feita durante a CVIS. Além disso, antes e após a tarefa cognitiva de atenção sustentada (RVIP) foi aplicado o questionário de humor (POMS), ATI e MOT, e, a fim de quantificar subjetivamente o nível de cansaço mental dos indivíduos, uma escala visual analógica (VAS) também foi aplicada nestes momentos. Em adição, foi obtida por meio de EMG durante a CVIS, a atividade muscular do músculo vasto lateral, assim como o tempo de exaustão nesta tarefa. A figura 1 apresenta a rotina que foi empregada no *setup* experimental de cada sessão experimental (sessões 3, 4 e 5).

estimativa da densidade corporal e percentual de gordura corporal, segundo a equação de Siri (1961) e Jackson e Pollock (1978), respectivamente.

3.4 Registro do consumo de cafeína

Durante o dia precedente aos testes, os participantes seguiram sua dieta habitual, porém, lhes foi pedido que não consumissem café ou produtos que possuíam CAF em sua composição. Com o intuito de quantificar o consumo de CAF, o sujeito respondeu o questionário proposto por Landrum (1992) que traduzido para o português. As respostas foram avaliadas conforme os valores de referência disponíveis no *United States Departamento of Agriculture* no *USDA Food Composition Databases* e os ciclistas foram classificados quanto ao consumo de CAF de acordo com Fitt et al. (2013).

3.5. Protocolo de ingestão de cafeína

Nos dias das sessões 4 e 5, com suplementação, os indivíduos ingeriram uma cápsula de PLA ou CAF, respeitando o caráter duplo cego e contrabalanceado. A dosagem de CAF era individual, com uma dose de 5 mg de CAF para cada kg de massa corporal, de acordo com o sugerido pelo *International Society of Sports Nutrition position stand* (GOLDSTEIN et al., 2010). Tal dosagem tem sido utilizada em diferentes estudos de desempenho físico, com efeitos positivos sobre o desempenho, incluindo o ciclismo (HODGSON; RANDELL; JEUKENDRUP, 2013; PITCHFORD et al., 2014). Como o tempo médio estimado para que a substância começasse a apresentar efeito é de 45 a 60 minutos (GOLDSTEIN et al., 2010), os sujeitos fizeram a ingestão da cápsula com CAF e PLA imediatamente antes do teste RVIP, o qual teve duração de 40 minutos. Assim, considerando um tempo de transição entre o término da realização do teste cognitivo e o início do TT_{20km} de, aproximadamente 10 minutos, estimamos que os sujeitos iniciaram o TT_{20km} aproximadamente 50 minutos após a ingestão da cápsula.

Com intuito de omitir a substância contida em cada cápsula, ambas as substâncias foram formuladas em cápsulas com o mesmo formato, cor, odor e sabor. A cápsula com PLA continha uma substância excipiente, composta de: Aerosil®, Estearato de magnésio, Silicato de magnésio e Microcel®, da marca CELULOMAX HG. No momento da entrega da cápsula para o sujeito, nenhuma informação foi dada ao indivíduo. As cápsulas foram codificadas a fim de que o avaliador também não soubesse qual a substância usada em cada sessão. Ao final de cada

teste com suplementação, foi solicitado que o sujeito respondesse qual substância ele acreditava ter ingerido.

3.6 Protocolo de tarefa cognitiva de atenção sustentada

Como teste de atenção sustentada com alta carga de memória foi usado o RVIP. Durante o teste são apresentados números de 1 a 9, continua e randomicamente em um computador localizado à frente do sujeito. Os números são apresentados com uma frequência de 100 dígitos por minuto, sendo solicitado aos participantes que pressionem a tecla “*barra de espaço*” o mais rapidamente possível, quando sequências de três números ímpares ou pares aparecerem no monitor (i.e. 1, 3, 5; 2, 4, 6; 3, 5, 7). A cada minuto são apresentadas 8 sequências corretas. A duração total da tarefa foi de 40 minutos, executada continuamente. O registro do número total de acertos, falsos alarmes e o tempo de reação para cada vez que a tecla “*barra de espaço*” for pressionada foram registrados ao final dos 40 minutos de teste. É esperado que haja uma piora no desempenho cognitivo à medida em que o teste RVIP progrida.

3.7 Contração Voluntária Isométrica Submáxima (CVIS)

Na visita “*Controle*” os sujeitos realizaram 3 CVM com duração máxima de 3 segundos, assim, o maior valor de torque encontrado entre elas foi definido como o máximo de cada indivíduo. Portanto, o valor de torque da CVIS foi calculado em 70% da CVM (MILLER; DOWNHAM; LEXELL, 1999). Previamente o início da sessão dois eletrodos para captação do sinal eletromiográfico foram instalados no musculo vasto lateral respeitando as normas do SENIAM. Após a execução do teste RVIP, enquanto estavam com os eletrodos de EEG alocados em suas respectivas derivações, os sujeitos foram posicionados em uma cadeira extensora acoplada a uma célula de carga (EMG System®, Brasil), com a coluna ereta, com quadril e joelhos fletidos a 90°, para a execução de CVIS. Durante a CVIS os sujeitos deveriam produzir e sustentar o torque correspondente à 70 % do torque máximo encontrado na CVM, respeitando uma variação de $\pm 5\%$. Duas linhas de referência foram apresentadas em um monitor, para facilitar o controle do torque a ser gerado. O critério para determinar o fim da tarefa era a incapacidade de manter o torque alvo por mais que 3 segundos, após três encorajamentos verbais (HUNTER et al., 2002; MAU-MOELLER et al., 2017). Durante toda a aquisição do sinal de torque (kgf) na CVIS, sinais EMG do músculo vasto lateral e EEG

(ver sessão 4.2. Eletroencefalografia) foram coletados. A familiarização com ambas CVIS e CVM ocorreram durante as sessões de “*Preliminar*” e “*Controle*”.

3.8 Teste contrarrelógio de 20 km

Após ajustes individualizados da bicicleta, foi realizado aquecimento de 5 minutos com ritmo auto selecionado (cadência do pedal e relação de marchas livres). Imediatamente após o aquecimento, iniciou-se o TT_{20km} com saída parada. Cada ciclista foi orientado a completar os 20 km no menor tempo possível, utilizando a sua própria estratégia para distribuição do ritmo. Nenhuma informação que poderia servir como referência para o ajuste do ritmo tais como tempo de prova, velocidade, potência mecânica e cadência de pedal, ficaram disponíveis para o voluntário durante a execução do TT_{20km}; à exceção foi a informação da distância percorrida. Informações sobre o desempenho em cada TT_{20km} foram reveladas ao indivíduo somente após a conclusão de sua participação no estudo.

4 INSTRUMENTOS E MEDIDAS

4.1 Desempenho

Cada TT_{20km} foi realizado em bicicleta de ciclismo de estrada (Giant®, EUA), acoplada a um ciclo-simulador (CompuTrainer™ RacerMate 8000, EUA), calibrado antes de cada teste, de acordo com as instruções do fabricante. Como indicadores de desempenho foram adotados a duração total do TT_{20km}, a potência mecânica pico (W_{PICO}), e a potência mecânica média ($W_{MÉDIA}$). Os valores de potência mecânica foram registrados ao longo do TT_{20km} a uma frequência de 4 Hz, depois convertidos para médias de 10 segundos. Então, a W_{PICO} foi determinada no maior valor registrado no teste, enquanto a $W_{MÉDIA}$ foi calculada como a média da potência mecânica gerada ao longo do TT_{20km}.

4.2 Eletroencefalografia (EEG)

Os registros de EEG foram feitos em três diferentes momentos, antes e após a execução do teste RVIP (5 minutos), estando os sujeitos sentados confortavelmente em uma cadeira, com olhos fechados e joelhos fletidos a 90°, assim como durante o teste de CVIS. A distância entre nasion e inion foi medida com uma fita métrica, de acordo com o sistema internacional de EEG 10-20. A captação do sinal era realizada em ambiente isolado e silencioso. Para diminuir a impedância e melhorar a captação do sinal foi realizada, previamente, a raspagem do couro cabeludo, limpeza e assepsia do local com álcool, com posterior aplicação de gel eletrolítico. Os dados de EEG foram coletados através de um aparelho de EEG digital (Emsa® TiEEG, Brasil) a uma frequência de 500 Hz e ganho de 1000, nas seguintes derivações: 1) córtex pré-frontal, na derivação Fp1; 2) córtex motor primário, na derivação Cz.

4.2.1 Análise do sinal de EEG pré e pós teste de RVIP

O sinal do EEG foi amplificado (ganho de $1 \cdot 10^3$) e filtrado com uma seleção digital (60 Hz), antes do uso de um filtro passa-faixa de 1-30 Hz. Foram considerados sinais com vazamento espectral (sinais de EEG $> 100 \mu v$) ou artefatos ($n = 1 - 2$, dependendo da parte da configuração experimental) e, quando identificados, foram excluídos da análise (MAURITS, 2011). Removeu-se os 30 s iniciais e finais da janela de tempo de 180 s pré e pós a execução do teste RVIP, a fim de excluir eventuais ruídos associados à expectativa dos ciclistas em

relação ao início ou término da aquisição do EEG. Posteriormente, os dados de EEG foram analisados no domínio das frequência através da transformação rápida de Fourier, de modo que a densidade espectral de potência total (tPSD) do espectro de potência da banda teta (3 - 7 Hz) fosse calculada em uma janela de 30 s, determinada através do uso de um algoritmo (implementado no ambiente Matlab®) para selecionar a porção mais estável do sinal adquirido. É importante ressaltar que estudos prévios de EEG, incluindo um estudo de exercício que induziu a fadiga mental, sugeriram que as ondas teta do EEG, representam uma banda de baixa frequência sensível para distinguir um fadiga mental (KÄTHNER et al., 2014; PIRES et al., 2018a).

4.2.2 Análise do sinal de EEG durante a CVIS.

O sinal do EEG foi amplificado (ganho de $1 \cdot 10^3$) e filtrado com uma seleção digital (60 Hz), antes do uso de um filtro passa-faixa de 1-30 Hz. Foram considerados sinais com vazamento espectral (sinais de EEG > 100 μ v) ou artefatos ($n = 1 - 2$, dependendo da parte da configuração experimental) e quando identificados foram excluídos da análise (MAURITS, 2011). A análise de EEG durante a CVIS foi calculada em relação ao percentual de alteração da ativação cortical pré RVIP nas derivações Fp1 (ondas alfa e teta) e Cz (ondas alfas). A fim de avaliar o comportamento da ativação cortical durante o exercício foram selecionados e cortados os últimos 2 s relativos aos momentos 25 %, 50 %, 75 % e 100% da CVIS e comparados a 2 s de repouso pré RVIP livre de qualquer manipulação (DE MORREE; KLEIN; MARCORA, 2014). O aumento de ondas teta na derivação Fp1 durante o exercício foi considerado indicador de fadiga mental e o aumento de ondas alfa na mesma derivação durante a CVIS foi interpretado como maior ativação do CPF. Em relação ao córtex motor, a maior ativação de ondas alfa em Cz foi considera como uma maior solicitação do drive central para o recrutamento de fibras musculares.

4.2.3 Análise da eficiência neuromuscular

Deschenes et al. (2002) consideraram a razão entre a força média e a raiz da média dos quadrados (RMS) de cada “burst” eletromiográfico como uma medida confiável de eficiência neuromuscular (ENM), medida esta que transparece o quanto de sinal eletromiográfico é necessário para produzir uma certa força em diferentes condições. Os autores também

consideraram que a redução da ENM com fadiga indicava que mais unidades motoras eram recrutadas para gerar a mesma quantidade de força em comparação com o músculo não fadigado.

Para o cálculo da ENM primeiramente os dados de força foram filtrados com um filtro digital passa baixa recursivo do tipo Butterworth de 4ª ordem com frequência de corte em 7 Hz, sendo que a frequência de corte foi determinada anteriormente através de análise residual (WINTER, 2009). Após a filtragem, o sinal de força foi normalizado pela massa corporal total.

O índice de ENM foi calculado como a integral da curva de razão entre a força e o RMS eletromiográfico vasto lateral, que foi calculado com um janelamento de 250 ms e sobreposição de 249.5 ms (Equação 1). Foi utilizada a integral da curva para que fosse levado em consideração o tempo de sustentação da força submáxima.

Equação 1 – Cálculo da eficiência neuromuscular**

$$ENM = \sum_{i=1}^{i+1} \int \frac{Força_{(i)}}{\sqrt{1 / 500 \cdot (x_i^2 + x_{i+1}^2 + \dots + x_{i+499}^2)_{(i)}}} \quad (1)$$

Fonte: Paulo Estevão Franco Alvarenga, 2018.

** Na equação x é o sinal eletromiográfico após filtragem com filtro digital passa banda recursivo do tipo Butterworth de 2ª ordem com frequências de corte em 20 e 500 Hz.

4.3 Medidas psicológicas

Medidas como PSE, FS, MOT e ATI foram obtidas a cada 2 km durante o TT_{20km}. As medidas de PSE foram obtidas por meio da escala 6 - 20 de Borg (1982), com descritores qualitativos sobre a sensação de esforço, na qual 6 - 7 correspondem à um exercício extremamente leve e 19 - 20, à um exercício extremamente difícil (BORG, 1982). Os sujeitos foram orientados a classificar sua PSE, utilizando informações como desconforto muscular e respiratório, taquicardia, e etc. (PIRES et al., 2011). Com o intuito de quantificar o esforço percebido em relação ao esforço gerado, calculou-se a razão da PSE pela $W_{MÉDIA}$ relativa a cada 2 km (PSE_w) (PÉREZ-LANDALUCE et al., 2002). A valência afetiva e prazer foi obtida a partir da “*Feeling Scale*” (FS), com pontuação corresponde à -5 e +5, com descritores representando a sensação de “muito ruim” (-5) e muito bom (+5) (HARDY; REJESKI, 1989). Além disso, utilizou-se uma escala de MOT, numerada de 0 a 10 pontos, com dois estados antagônicos de motivação: muito motivado ou muito desmotivado (KARAGEORGHIS, 2016;

TENENBAUM; EKLUND, 2007). O estado de ATI foi obtido a partir de uma escala numerada de 1 a 6 pontos, com descritores qualitativos representando “baixa ativação” (número 1) e “alta ativação” (número 6) (SVEBAK; MURGATROYD, 1985).

Medidas psicológicas também foram obtidas imediatamente antes e após a execução do RVIP. Uma escala analógica visual (VAS) de 0 a 100 pontos foi utilizada para quantificar a sensação de cansaço mental, sendo que 0 representa “ausência de cansaço mental” e 100, “extremamente cansado, mentalmente”. Uma versão abreviada do questionário do estado de humor (POMS) composto por 24 descritores de humor em uma única palavra foi utilizado para medir “raiva”, “confusão mental”, “depressão”, “fadiga”, “tensão” e “vigor”, através de uma escala *Likert* de 5 pontos variando de 0 (zero significando "nada") à 4 (significando "extremamente"). Adicionalmente, o distúrbio total de humor (DTH) foi calculado, sendo que foram somados os valores encontrados para “raiva”, “confusão mental”, “depressão”, “fadiga” e “tensão” subtraído pelo valor encontrado para “vigor” e, somado pela constante 100 para evitar o resultado global negativo (VIANA; ALMEIDA; SANTOS, 2012).

As respostas de PSE, FS, MOT e ATI, obtidas a cada 2km ao longo do TT_{20km}, foram usadas para indicar as respostas psicológicas durante o exercício, sendo que as alterações que ocorrerem entre estas medidas foram analisadas e comparadas entre as sessões. As respostas de MOT, ATI e VAS, obtidas nos momentos pré e pós teste de RVIP, foram utilizadas para representar o nível de cansaço mental dos sujeitos. Um aumento nas respostas de VAS foi interpretado como maior cansaço mental, enquanto uma queda nos valores das escalas MOT e ATI representará perda de motivação e disposição dos indivíduos para realizar o TT_{20km}. As respostas obtidas do POMS nos momentos pré e pós teste de RVIP foram utilizadas para caracterização da instalação da FM com referência na alteração do humor dos sujeitos. Assim um aumento nas sensações raiva, confusão mental, depressão, fadiga e tensão, além da redução da sensação de vigor foi encontrado.

4.4 Análise estatística

Como estatística descritiva, foi utilizada a média e o desvio padrão ($\pm$ DP). A normalidade, variância e homocedasticidade dos dados foram previamente verificadas através dos testes de *Shapiro-Wilk* e *Levene*.

Verificação da instalação da fadiga mental: Primeiramente, verificamos os efeitos da fadiga mental intra-sessão, comparando a ativação de ondas teta do EEG pré e pós teste RVIP, através de um teste *T-student* pareado. De mesmo modo, verificamos as alterações do

questionário de POMS, VAS, ATI e motivação entre pré e pós teste de RVIP, por meio do teste *T-student* pareado. Em segundo lugar, comparamos as alterações de desempenho do TT_{20km} (tempo para completar o TT e a W_{MEAN}) entre as sessões controle e FM. Por último, comparou-se os efeitos das manipulações sobre as respostas de EEG através de um modelo misto para medidas repetidas, conforme detalhado abaixo. As comparações múltiplas foram corrigidas pelo teste de Bonferroni em casos de valores F significantes.

Alterações no desempenho cognitivo foram acessadas pelas alterações no número de falsos alarmes, tempo de reação e respostas corretas durante o teste RVIP. Para isso, utilizou-se um modelo misto com a melhor matriz de covariância encontrada (conforme descrição abaixo) entre as condições (FM, FM + CAF e FM + PLA). O teste de Bonferroni foi usado em casos de valores F significantes.

Efeitos da fadiga mental e manipulação sobre o teste CVIS: O tempo de exaustão durante a CVIS, ENM e a ativação cortical do CPF nas derivações Fp1 e Cz durante a CVIS, foram comparados entre as condições FM, FM + CAF e FM + PLA e momento da CVIS (25%, 50%, 75% e 100%), através de um modelo misto, com a melhor matriz de covariância.

Efeitos da fadiga mental e manipulação sobre o TT_{20km}: As alterações no desempenho no TT_{20km} dos ciclistas mentalmente fatigados devido à ingestão de CAF e PLA foram verificadas. Assim, a W_{MEAN} e o tempo para completar o TT_{20km} foram comparados entre as condições FM, FM + CAF e FM + PLA através de um modelo misto, tendo condição (FM, FM + CAF e FM + PLA) como fator fixo e ciclistas, como fator aleatório. Além disso, potência mecânica e respostas psicológicas (i. e., PSE, PSE_w, motivação, FAS e FS) no decorrer do TT_{20km} foram comparadas entre as condições. Assim, utilizou-se um modelo mistos com a melhor matriz de covariância, tendo distância (i. e., 2°, 4° até 20km) e condição (ou seja, FM, FM + CAF e FM + PLA) como fatores fixos, enquanto os ciclistas foram o fator aleatório. Comparações múltiplas foram corrigidas pelo teste de Bonferroni em casos de valores F significantes.

Para obtenção do melhor modelo misto nas comparações múltiplas, adotou-se a melhor estrutura de matriz de covariância que se ajustou ao conjunto de dados em cada comparação. As matrizes testadas foram: Composto Simétrico homogêneo e heterogêneo, Auto regressiva de Primeira Ordem homogêneo e heterogêneo, Auto regressiva médio de Primeira Ordem e Toeplitz homogêneo e heterogêneo. A melhor matriz era assumida nos menores valores de BIC (Schwarz's Bayesian Criterion). Após a identificação da melhor estrutura, utilizou-se o teste de Bonferroni quando comparações múltiplas mostraram valores F significativas.

Como o cálculo de um tamanho de amostra anterior assumiu um tamanho de efeito (ES) muito grande (ES = 0,9), decidimos confirmar o ES na análise *post-hoc*, assim possibilitando

comparações eventuais com estudos anteriores (BRIETZKE et al., 2017; PIRES et al., 2018a). Portanto, calculamos o ES como d -Cohen e o classificamos como pequeno ($d < 0.1$), moderado ($0.1 < d < 0.3$), grande ($0.3 < d < 0.5$), muito grande ($0.5 < d < 0.9$) e extremamente grande ($0.9 < d$), como sugerido em outros lugares (HOPKINS et al., 2009).

Foi adotado um nível de significância de 5% ($p < 0.05$) em todas as análises, as quais foram realizadas com o software *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) 20.0.

5 RESULTADOS

Compareceram ao laboratório um total de 26 ciclistas, destes, 17 obtiveram o tempo menor que 33 minutos no TT_{20km}. Dos aprovados, 3 desistiram por motivos pessoais e outros 2 deixaram o estudo por lesão. Assim 12 ciclistas (34.3 ± 6.2 anos; 179.3 ± 5.1 cm; 77.6 ± 6.8 kg; 13.8 ± 4.5 % de gordura corporal) classificados com nível 3 de performance (58.9 ± 6.2 VO_{2MAX}; 367.0 ± 32.5 W_{PICO}), de acordo com DE PAUW et al., (2013), frequência semanal 4.7 ± 2.3 sessões de treinos /semana (283.7 ± 138.6 km/week), e experiência de treino de ~ 6.5 anos (participando de competições de nível regional e nacional), completaram o estudo.

5.1 Efeitos da fadiga mental na ativação do CPF, respostas psicológicas e desempenho no TT_{20km}

Como parte do controle do estudo, confirmamos que o RVIP foi eficaz para induzir a FM. Em primeiro lugar, observamos que o teste RVIP diminuiu a ativação do CPF, como sugerido pelo aumento de ~ 4.8 % na banda teta do EEG entre pré e pós-teste de RVIP ($p = 0.03$; $d = 1.53$, ES extremamente grande). Consequentemente, os ciclistas apresentaram um aumento da sensação de FM (35.0 ± 16.9 u. a. vs 73.3 ± 12.1 u. a.; $p = 0.00$; $d = 3.40$, ES extremamente grande), uma menor motivação (7.6 ± 1.9 u. a. vs 6.0 ± 2.9 u. a.; $p = 0.00$; $d = 3.17$, ES extremamente grande) e menor ativação (4.7 ± 1.4 u. a. vs 3.8 ± 1.5 u. a.; $p = 0.00$ $d = 2.73$, ES extremamente grande) após o teste RVIP. Adicionalmente, os resultados do questionário de humor POMS indicaram significantes aumentos nas sensações de raiva (0.2 ± 0.6 u. a. vs 1.2 ± 1.8 u. a.; $p = 0.05$, $d = 1.39$, ES extremamente grande), fadiga (3.8 ± 3.0 u. a. vs 6.4 ± 4.5 u. a.; $p = 0.01$, $d = 1.78$, ES extremamente grande) e DTH (100.2 ± 7.7 u. a. vs 107.8 ± 14.4 u. a.; $p = 0.05$, $d = 1.38$, ES extremamente grande), e significativa redução na sensação de vigor (9.7 ± 3.8 u. a. vs 7.0 ± 4.3 u. a., $p = 0.00$, $d = 1.96$ ES extremamente grande) após o teste de RVIP. As variáveis depressão (0.4 ± 0.7 u. a. vs 1.3 ± 2.3 u. a., $p = 0.26$, $d = 0.75$ ES muito grande), confusão mental (2.0 u. a. ± 2.2 u. a. vs 2.2 ± 1.4 u. a., $p = 0.09$, $d = 1.19$ ES extremamente grande) e tensão (3.2 ± 2.3 u. a. vs 2.4 ± 1.7 u. a., $p = 0.47$, $d = 0.59$ ES muito grande) não apresentaram diferenças significantes após a o teste de RVIP.

Além disso, as comparações entre as sessões controle e FM mostraram que o desempenho do TT_{20km} foi prejudicado pela FM. O tempo para completar o teste aumentou em ~ 0.9 % (33.0 ± 1.4 min vs 32.7 ± 1.4 min; $p = 0.00$; $d = 2.41$ ES extremamente grande) e a W_{MEAN} diminuiu em ~ 2.2 % (260 ± 32 W vs 254.3 ± 29.7 W; $p = 0.00$; $d = 2.87$, ES

extremamente grande), quando os ciclistas estavam mentalmente fatigados. Além disso, houve interação entre ingestão e distância nas respostas de RPE_w ($F = 2.41$; $p = 0.01$; $d = 0.66$ ES muito grande); a RPE_w foi menor em 2 km ($p = 0.01$) e 18 km ($p = 0.00$) na presença de fadiga mental. As figuras 2 (painel 2A e 2B) e 3A descrevem estes resultados.

Figura 2 - Diferença percentual no desempenho de tempo e W_{MEDI} em relação ao controle**

Fonte: Paulo Estevão Franco Alvarenga, 2018.

**A) Diferença percentual do tempo no TT_{20km}

B) Diferença percentual da W_{MEDI} no TT_{20km}

5.2 Efeitos da cafeína no EEG, respostas psicológicas e desempenho cognitivo em ciclistas mentalmente fatigados

O aumento de $\sim 4.8\%$ na onda teta do EEG em relação ao pré-teste de RVIP (Figura 3A) na condição FM foi revertido após a ingestão de CAF e PLA, pois CAF (FM + CAF) e PLA (FM + PLA) reduziram a onda teta do EEG pós teste de RVIP em $\sim 8.8\%$ e $\sim 4.8\%$, respectivamente (Figura 3B). Ao comparar a ativação do CPF entre as condições, encontramos efeito principal sobre a onda teta do EEG ($F = 4.86$; $p = 0.03$; $d = 3.95$ ES extremamente grande), de modo que FM + CAF ($p = 0.03$), mas não FM + PLA ($p = 0.54$) foi significativamente menor que a sessão FM. Além disso, nenhuma diferença foi detectada na ativação do CPF entre as sessões FM + CAF e FM + PLA ($p = 1.00$). A figura 3B mostra essas respostas.

Figura 3 - Ativação do CPF**

Fonte: Paulo Estevão Franco Alvarenga, 2018

** Os dados foram relatados como média $\pm$ DP.

A: mostra a diferença antes e depois do RVIP na ativação das ondas teta no CPF (* $p < 0.05$).

B: alterações percentuais na potência das ondas teta do EEG antes e depois do teste RVIP. Diferença entre FM e FM + CAF * $p < 0.05$.

Apesar de bloquear os efeitos da fadiga mental na ativação do CPF, a CAF alterou significativamente a sensação de fadiga mental e a ativação, pois ambas as respostas aumentaram do pré para o pós teste RVIP na condição FM + CAF. Em contraste, a ingestão de CAF bloqueou uma possível redução na motivação, pois os ciclistas alegaram uma motivação semelhante antes e depois do teste de RVIP na condição FM + CAF (tabela 1). Quando expressas como alterações percentuais relativas ao teste pré RVIP, os resultados gerais sugeriram que a ingestão de CAF aliviou as alterações na sensação de fadiga (35.3%), ativação (8.5%) e motivação (9.2%) quando comparada à FM ($\uparrow$ 54.7%) sensação de fadiga $\downarrow$ 28.6%, em ativação e $\downarrow$ 36.5 em motivação) e PLA + FM ($\uparrow$ 57.3 % em sensação de fadiga, $\downarrow$ 33.3 % em excitação emocional e $\downarrow$ 3.5 % motivação).

Tabela 1 - Alterações psicológicas pós tarefa cognitiva de atenção sustentada**

	pré RVIP	pós RVIP	valor de p	ES
Cansaço mental (u.a.)				
FM	35.0 ± 16.9	73.3 ± 12.1	0.00*	1.53
FM + CAF	34.2 ± 27.1	49.2 ± 23.9	0.05*	1.33
FM + PLA	26.6 ± 23.8	57.5 ± 19.1	0.00*	3.40
Motivação (u.a.)				
FM	7.6 ± 1.9	6.0 ± 2.9	0.00*	3.17
FM + CAF	8.1 ± 1.7	7.6 ± 2.0	0.36	0.59
FM + PLA	7.2 ± 2.5	7.1 ± 2.1	0.74	0.19
Ativação (u.a.)				
FM	4.7 ± 1.4	3.8 ± 1.5	0.00*	2.73
FM + CAF	4.6 ± 1.1	5.1 ± 1.3	0.05*	1.30
FM + PLA	5.4 ± 1.4	4.5 ± 0.7	0.04*	1.43

Fonte: Paulo Estevão Franco Alvarenga, 2018

** Os dados foram relatados como média ± DP. * Resultados significantes entre momentos $p < 0.05$

A fadiga mental alterou as respostas de humor entre pré e pós RVIP, visto o aumento nas sensações de raiva e fadiga na condição FM e redução nas respostas de vigor. Adicionalmente, as alterações no DTH foram maiores para as condições FM e FM + CAF e não para condição FM + PLA (tabela 2).

Tabela 2 - Resultados do questionário de POMS pós tarefa cognitiva de atenção sustentada **

	Pré	Pós	valor de p	ES
Raiva				
FM	0.2 ± 0.6	1.2 ± 1.8	0.05*	1.32
FM + CAF	0.2 ± 0.4	0.7 ± 1.0	0.16	0.89
FM + PLA	0.5 ± 0.8	0.3 ± 0.5	0.58	0.33
Confusão				
FM	2.0 ± 2.2	2.2 ± 1.4	0.09	1.19
FM + CAF	0.3 ± 1.5	0.6 ± 2.1	0.09	1.33
FM + PLA	1.0 ± 2.3	1.7 ± 2.4	0.10	1.13
Depressão				
FM	0.4 ± 0.7	1.3 ± 2.3	0.26	0.72
FM + CAF	0.3 ± 0.5	0.3 ± 0.5	1.00	0.00
FM + PLA	0.5 ± 0.7	0.3 ± 0.5	0.44	0.51
Fadiga				
FM	3.8 ± 3.0	6.4 ± 4.5	0.01*	1.78
FM + CAF	2.8 ± 3.1	4.8 ± 3.8	0.01*	1.76
FM + PLA	3.8 ± 4.1	5.0 ± 2.8	0.25	0.73
Tensão				
FM	3.2 ± 2.3	2.4 ± 1.7	0.37	0.59
FM + CAF	2.3 ± 1.9	1.8 ± 1.3	0.76	0.20
FM + PLA	2.5 ± 1.8	2.0 ± 1.6	0.24	0.79
Vigor				
FM	9.7 ± 3.8	7.0 ± 4.3	0.00*	1.96
FM + CAF	9.8 ± 2.5	8.8 ± 2.9	0.08	1.14
FM + PLA	9.5 ± 3.8	8.6 ± 4.5	0.38	0.54
DTH				
FM	100.2 ± 7.7	107.8 ± 14.4	0.05*	1.38
FM + CAF	96.5 ± 7.1	103.0 ± 10.6	0.02*	1.80
FM + PLA	99.1 ± 9.0	101.1 ± 8.4	0.43	0.51

Fonte: Paulo Estevão Franco Alvarenga, 2018.

** Os dados foram relatados como média ± DP.

*Resultados significativos $p < 0.05$.

Quanto ao desempenho cognitivo durante o teste de RVIP, não houve diferenças entre as condições de FM, FM + CAF e FM + PLA no tempo de reação e falsos alarmes, porém houve diferenças na precisão das respostas, já que os ciclistas fatigados mentalmente que ingeriam CAF ($46.4 \pm 16.1\%$) ou PLA ($46.8 \pm 17.3\%$) melhoraram a acurácia das respostas ($F = 11.89$; $p = 0.00$; $d = 1.47$, extremamente grande ES) quando comparado com a condição FM ($41.8 \pm 16.1\%$) (Tabela 3).

Tabela 3 - Resultados das variáveis de desempenho cognitivo no teste de RVIP**

	FM	FM + CAF	FM + PLA	<i>F</i>	Valor de <i>p</i>	ES
Tempo de reação (s)	37.0 ± 12.4	38.0 ± 14.5	39.8 ± 13.8	1.21	0.32	0.47
Falsos alarmes (u.a.)	22.4 ± 17.4	19.7 ± 18.1	13.4 ± 11.2	0.88	0.42	0.40
Precisão de respostas (u.a.)	122.4 ± 35.4	148.4 ± 51.5	162.5 ± 68.4	11.88	0.00*	1.47

Fonte: Paulo Estevão Franco Alvarenga, 2018

** Os dados foram relatados como média $\pm$ DP. * Resultados significativos $p < 0.05$

5.3 Efeitos da cafeína sobre eficiência neuromuscular e ativação cortical na CVIS.

Efeito principal da condição na CVIS ($F = 8.48$, $p = 0.00$, $d = 1.24$, ES extremamente grande) foi observado sobre o tempo de exaustão na CVIS, este foi maior na condição FM + CAF ($p = 0.00$) quando comparada à FM e FM + PLA (33.46 ± 14.24 s vs 25.11 ± 12.93 s vs 25.82 ± 10.61 s, respectivamente) (Figura 4).

Figura 4 - Tempo de exaustão na CVIS**

Fonte: Paulo Estevão Franco Alvarenga, 2018.

** Os dados foram relatados como média ± DP. Tempo de exaustão na CVIS, em FM (barra preta), FM + CAF (barra cinza) e FM + PLA (barra branca). * Efeito principal da condição, sendo que FM + CAF foi maior comparada a FM ($p = 0.00$) e FM + PLA ($p = 0.00$).

Em concordância com os resultados de desempenho durante a CVIS, foi encontrado efeito principal da condição para a ENM do músculo vasto lateral (Figura 5) durante a CVIS ($F = 4.94$, $p = 0.01$, $d = 0.95$ ES extremamente grande). Assim, os sujeitos foram mais eficientes na condição FM + CAF comparada à FM ($p = 0.04$), porém nenhuma diferença foi encontrada entre FM + CAF e FM + PLA ($p = 0.12$) e FM + PLA e FM ($p = 1.00$).

Figura 5 - Eficiência neuromuscular**

Fonte: Paulo Estevão Franco Alvarenga, 2018.

**Os dados foram relatados como média ± DP do percentual de alteração em relação a FM. ENM do vasto lateral durante a CVIS, FM + CAF (barra preta) e FM + PLA (barra branca). *Efeito principal da condição, sendo que FM + CAF foi maior comparada a FM ($p = 0.04$).

Em relação à ativação cortical durante o exercício, encontrou-se efeito principal da condição na ativação de ondas teta da derivação Fp1 do CPF ($F = 5.69$, $p = 0.00$, $d = 1.02$, ES extremamente grande) e efeito principal do momento ($F = 5.46$, $p = 0.00$, $d = 0.99$, ES extremamente grande). Desta forma, a FM + CAF foi menor que a FM + PLA ($p = 0.01$) e igual a FM ($p = 1.00$), porém há um indicativo que FM + PLA foi maior que FM ($p = 0.05$) (Figura 6).

Figura 6 - Ativação cortical das ondas teta em Fp1 durante a CVIS**

Fonte: Paulo Estevão Franco Alvarenga, 2018.

** Os dados foram relatados como média $\pm$ DP. Ativação cortical das ondas teta em Fp1 durante a CVIS em FM (círculos abertos), FM + CAF (quadrado preenchido) e FM + PLA (triângulo preenchido). Efeito principal da condição * $p = 0.00$, $d = 1.01$ e efeito principal de distância # para teta em Fp1 $p = 0.00$, $d = 0.99$ extremamente grande.

Em relação às ondas alfa no CPF, observou-se efeito principal da condição ($F = 5.72$, $p = 0.00$, $d = 1.02$ ES extremamente grande) e do momento ($F = 6.20$, $p = 0.00$, $d = 1.06$ ES extremamente grande), porém nenhum efeito de interação entre condição e momento foi encontrado ($F = 1.64$, $p = 0.16$, $d = 0.55$ ES muito grande). Assim, a ativação de alfa em Fp1 mostrou-se maior na condição FM + PLA do que em FM ($p = 0.03$) e FM + CAF ($p = 0.02$). Nenhuma diferença ($p = 0.47$) foi encontrada na ativação entre a condição FM + CAF e a condição FM (16.7 ± 112.5 Hz vs 41.3 ± 66.6 Hz respectivamente) (Figura 7).

Figura 7 - Ativação de ondas alfa na derivação Fp1 durante a CVIS**

Fonte: Paulo Estevão Franco Alvarenga, 2018.

**Os dados foram relatados como média $\pm$ DP.

Ativação cortical das ondas alfa em Fp1 durante a CVIS em FM (círculos abertos), FM + CAF (quadrado preenchido) e FM + PLA (triângulo preenchido). Efeito principal da condição * $p = 0.00$, $d = 1.02$ e efeito principal de distância # para teta em Fp1 $p = 0.00$, $d = 1.06$ extremamente grande.

Quanto à ativação no córtex motor, encontrou-se efeito principal do momento ($F = 7.17$, $p = 0.01$, $d = 1.14$ ES extremamente grande), porém nenhuma diferença entre as condições foi encontrada ($F = 1.57$, $p = 0.23$, $d = 0.53$ ES muito grande). Em adição, foi observado efeito de interação entre condição e momento ($F = 3.30$, $p = 0.04$, $d = 0.75$ ES muito grande), sendo que a ativação em Cz na condição FM + CAF foi menor no momento 75% quando compara à sessão FM + PLA ($p = 0.03$) e FM ($p = 0.06$) (Figura 8).

Figura 8 - Ativação das ondas alfa na derivação Cz durante a CVIS**

Fonte: Paulo Estevão Franco Alvarenga, 2018.

** Os dados foram relatados como média $\pm$ DP. Ativação cortical das ondas alfa em Cz durante a CVIS em FM (círculos abertos), FM + CAF (quadrado preenchido) e FM + PLA (triângulo preenchido). Efeito principal da distância * $p = 0.01$, $d = 1.14$. Efeito de interação “e” entre FM + CAF e FM $p = 0.04$, $d = 0.75$ muito grande.

5.4 Efeitos da cafeína no desempenho e ritmo do TT_{20km} em ciclistas mentalmente fatigados

A ingestão de CAF melhorou significativamente o desempenho do TT_{20km} quando comparado com as condições FM + PLA e FM. Consequentemente, ciclistas mentalmente fatigados ao ingerir CAF (FM + CAF = 32.4 ± 1.2 min) melhoraram o tempo para completar o TT em $\sim 1.8\%$ e $\sim 1.7\%$ quando comparado a FM (FM = 33.0 ± 1.4 min) e PLA (FM + PLA = 33.0 ± 1.2 min), respectivamente ($F = 13.76$, $p = 0.00$, $d = 1.58$, extremamente grande). Nesse sentido, ciclistas mentalmente fatigados que ingeriram CAF (FM + CAF = 265.8 ± 28.2 W) aumentaram a W_{MEAN} em $\sim 4.4\%$ e $\sim 3.6\%$ quando comparado ao FM (FM = 254.3 ± 29.7 W) e PLA (FM + PLA = 256.0 ± 25.3 W), respectivamente ($F = 20.88$, $p = 0.00$, $d = 1.94$, ES extremamente grande).

Em relação à estratégia de ritmo, os ciclistas adotaram um perfil de *pacing* “em forma de J” em todos os ensaios de FM, FM + CAF e FM + PLA. Comparações múltiplas revelaram um efeito principal da condição ($F = 42.69$, $p = 0.00$, $d = 2.79$, ES extremamente grande) e da distância ($F = 3.42$, $p = 0.00$, $d = 0.78$, ES grande), mas nenhum efeito de interação entre distância e condição (Figura 9).

Figura 9 - Estratégia de ritmo adotada em cada condição**

Fonte: Paulo Estevão Franco Alvarenga, 2018.

** Os dados foram relatados como média $\pm$ DP. Distribuição da $W_{MÉDIA}$ durante TT_{20km} em FM (círculos abertos), FM + CAF (quadrado preenchido) e FM + PLA (triângulo preenchido). # Efeito principal de condição ($p < 0.01$, $d = 0.78$ grande), (os principais efeitos da distância foram suprimidos para uma melhor visualização dos efeitos de fadiga mental).

5.5 Efeitos da cafeína em respostas psicológicas no TT_{20km} em ciclistas mentalmente fatigados

A PSE comportou-se de maneira igual independentemente da condição, assim, não houve efeito principal de condição ($F = 1,24$; $p = 0,30$; $d = 0,47$, ES grande) nem efeito de interação condição pela distância ($F = 1,22$; $p = 0,28$; $d = 0,47$; ES grandes). Em contraste, um efeito principal de distância foi observado na PSE absoluta ($F = 15,76$, $p = 0,00$, $d = 1,63$ ES extremamente grande) (figura 10A). Ao analisar os valores de PSE_w , observamos um efeito principal da condição ($F = 5,12$; $p = 0,01$, $d = 0,96$, ES extremamente grande) de modo que a ingestão de CAF reduziu a PSE_w quando comparada a FM ($p = 0,04$) e FM + PLA ($p = 0,02$). No entanto, nenhuma diferença foi detectada entre FM e FM + PLA ($p = 1,00$). Além disso, tanto o efeito principal de distância ($F = 4,99$, $p = 0,00$, $d = 0,95$ extremamente ES grande) e condição pelo efeito de interação distância ($F = 2,33$, $p = 0,01$, $d = 0,65$ ES grande) foram encontrados (figura 10B). Portanto, em respostas gerais a PSE_w foi menor nas condições FM + CAF do que nas condições FM e FM + PLA, principalmente entre as distâncias intermediárias.

Figura 10 - Comportamento da percepção subjetiva do esforço e razão percepção de esforço pela potência**

Fonte: Paulo Estevão Franco Alvarenga, 2018.

** Os dados foram relatados como média $\pm$ DP. PSE durante TT_{20km} em FM (círculos abertos), FM + CAF (quadrado preenchido) e FM + PLA (triângulo preenchido).

A. Nenhuma diferença foi encontrada para manipulação em valor absoluto de PSE $p = 0.30$, efeito principal de distância # para RPE $p < 0.01$, $d = 1.63$ extremamente grande.

B. Para efeitos de PSE_w, os efeitos de interação entre distância e manipulação foram destacados para e = FM + CAF para FM; c = FM + CAF para FM + PLA. * Efeito da condição entre FM e FM + PLA para PSE_w FM + CAF ($p = 0.01$, $d = 0.96$ extremamente grande).

Em relação às respostas psicológicas remanescentes, embora um efeito principal de distância tenha sido detectado para ativação ($F = 2,35$, $p = 0,03$, $d = 0,65$, ES grande), nenhum efeito principal de condição e nenhum efeito de interação de distância por condição foi observado (figura 11A). Apesar de não ter sido detectado efeito principal da condição e de distância, a motivação nos primeiros 2 km do TT_{20km} foi maior em FM + CAF do que em FM e FM + PLA ($F = 2,15$, $p = 0,02$, $d = 0,62$, ES grande) (figura 11B). Consequentemente, nenhum efeito principal da condição e distância foi observado nas respostas de FS, porém houve efeito de interação entre manipulação e distância para a resposta afetiva nos últimos 2 km do TT_{20km} fosse maior em FM e FM + CAF do que em FM + PLA ($F = 3,01$, $p = 0,01$, $d = 0,74$, ES grande) (figura 11C).

Figura 11 - Respostas psicológicas de ativação, motivação e afeto**

Fonte: Paulo Estevão Franco Alvarenga, 2018.

** Os dados foram relatados como média $\pm$ DP. Respostas psicológicas durante TT20km em FM (círculos abertos), FM + CAF (quadrado preenchido) e FM + PLA (triângulo preenchido).

A. ATI efeito de distância foi encontrado # $p = 0.03$, $d = 0.65$ grande.

B. Motivação os efeitos de interação entre manipulação e distância foram destacados para e = FM + CAF para FM.

C. FS efeito de interação entre manipulação e distância foram destacados para c = FM + CAF para FM + PLA; d = FM + PLA para FM.

6 DISCUSSÃO

O presente estudo foi desenhado para investigar se a ingestão de CAF pode bloquear os efeitos da fadiga mental na ativação do CPF, melhorando o desempenho em um teste de ciclismo baseado na distância, já que recentemente foi sugerido que a redução do desempenho no TT_{20km} sob fadiga mental está, possivelmente, relacionada à desativação do CPF induzida por fadiga mental (PIRES et al., 2018a). De outro lado, estudos anteriores observaram que a ingestão de CAF evitou o decréscimo no desempenho de indivíduos mentalmente fatigados durante um teste de ciclismo por tempo até a exaustão (AZEVEDO et al., 2016). Os resultados mostraram que a CAF bloqueou a provável lentificação do CPF e melhorou o desempenho do TT_{20km} em ciclistas recreativos mentalmente fatigados além de reduzir as respostas de PSE, independentemente de alterações em outras respostas psicológicas. Além disso, a ingestão de CAF aumentou a ENM dos ciclistas reduzindo a ativação cortical e aumentando o recrutamento de fibras musculares na CVIS.

6.1 Confirmando os efeitos de fadiga mental na ativação do PFC e no desempenho do TT20km

Primeiramente, estudamos os efeitos da fadiga mental na ativação do CPF e no desempenho do TT_{20km} sem ingestão de CAF, comparando as sessões controle e FM. Semelhante aos resultados relatados em outros estudos, encontramos uma redução de 4,8% na ativação do CPF após o teste RVIP, conforme indicado pelo aumento da banda teta do EEG (KÄTHNER et al., 2014; PIRES et al., 2018a; WASCHER et al., 2014). Da mesma forma, os ciclistas reportaram maior sensação de fadiga e menor motivação e ativação após realização da tarefa cognitiva de atenção sustentada (SMITH et al., 2016). A recente revisão de Martin et al., (2018) justificou que a menor motivação em sujeitos mentalmente fatigados é proveniente do acúmulo de adenosina cerebral e, conseqüentemente, do decréscimo de dopamina circulante nessas condições. Ademais, a lentificação do CPF pode justificar as alterações nas respostas de humor após a indução da fadiga mental, assim como a redução dos níveis de dopamina e serotonina (DREVETS et al., 1997; FUMOTO et al., 2010).

Conseqüentemente, a fadiga mental resultou em 0.9 % e 2.2 % de piora nos resultados de desempenho do ciclismo, como tempo e W_{MEAN} , respectivamente. Esses resultados concordaram com um recente estudo que avaliou ciclistas mentalmente fatigados (PIRES et al., 2018a), reforçando a hipótese de uma provável conexão entre a lentificação do CPF e o desempenho prejudicado durante exercício de endurance que requeira a manutenção do controle

inibitório e a capacidade de lidar com sensações aversivas (BRICK; MACINTYRE; CAMPBELL, 2014; MARTIN et al., 2016; MICKLEWRIGHT et al., 2016; MURAVEN; BAUMEISTER, 2000). Tem sido proposto que o CPF desempenhe um papel importante na regulação do ritmo do exercício, já que o CPF está envolvido em um comportamento pró-ativo direcionado por objetivos (EKKEKAKIS, 2009; MILLER; COHEN, 2001; PIRES et al., 2016). De fato, o estudo que avaliou os efeitos da fadiga mental em ciclistas observou uma redução na ativação do CPF e pior desempenho no TT_{20km} quando ciclistas recreativos estavam mentalmente fatigados (PIRES et al., 2018a). É importante ressaltar que a ativação do CPF foi prontamente observada antes do teste de RVIP realizado previamente ao teste de ciclismo. Assim, também observamos uma redução na ativação do CPF imediatamente após o teste RVIP. Portanto, embora não tenhamos medido a ativação do CPF durante o TT_{20km}, o prejuízo no desempenho dos ciclistas mentalmente fatigados pode estar possivelmente relacionado à lentificação do CPF durante o exercício.

6.2 Efeitos da cafeína nas respostas à tarefa de alta demanda cognitiva

Embora o mecanismo subjacente aos efeitos da fadiga mental não seja totalmente compreendido, a lentificação da ativação do CPF (como sugerido pelo aumento da onda teta do EEG) no presente estudo pode ser resultado do aumento da concentração de adenosina cerebral derivada da hidrólise do ATP após alta demanda cognitiva (DUNWIDDIE; MASINO, 2001; MARTIN et al., 2018; QI et al., 2017). Assim, também hipotetizamos que a ingestão de CAF poderia atenuar os efeitos de fadiga mental, uma vez que a CAF bloqueia os receptores neuronais de adenosina A1 e melhora a atividade neuronal e a excitabilidade do SNC (DAVIS et al., 2003; KALMAR; CAFARELLI, 2004). Na verdade, a ingestão de CAF implicou em menor aumento de ondas teta no CPF, visto no sinal de EEG na sessão de FM. Além disso, quando comparado à sessão FM, a ingestão de CAF melhorou o desempenho cognitivo (como sugerido por uma maior precisão das respostas durante o teste RVIP) e bloqueou uma possível redução na motivação. É importante ressaltar que o CAF também aliviou o aumento na sensação de fadiga mental e a redução na ativação, ambas induzidas pelo teste de RVIP observada nas sessões de FM e FM + PLA. Em adição, a ingestão de CAF e PLA reduziram a variação nas respostas de humor como a sensação de fadiga e confusão mental além de diminuir a variabilidade do DTH. Juntas, bloqueado o efeito de lentificação do CPF, o desempenho cognitivo aumentado e respostas psicológicas aliviadas ao teste RVIP na sessão FM + CAF podem sugerir uma capacidade cognitiva preservada de controle inibitório e atenção mantida

(embora a ingestão de PLA também tenha afetado a precisão das respostas, conforme discutido abaixo). Consequentemente, levantamos a hipótese de que os efeitos positivos da CAF na capacidade cognitiva de ciclistas mentalmente fatigados poderiam ser importantes para um desempenho de TT_{20km} bem-sucedido.

6.3 Efeitos da cafeína na ativação cortical e neuromuscular

Em paralelo à ideia principal deste estudo, verificou-se a ativação cortical e neuromuscular durante uma CVIS a 70 % do máximo alcançado em CVM. Este modelo de exercício foi escolhido para que fosse possível uma análise do EEG durante o esforço, evitando possíveis ruídos e artefatos derivados da constante mudança de postura corporal que ocorrem durante o gesto motor do ciclismo. Assim os resultados atenderam a hipótese levantada e a ingestão de CAF aumentou o tempo de exaustão dos ciclistas mentalmente fadigados durante a contração submáxima. Adicionalmente, um estudo recente encontrou redução de ~ 10 s no tempo de exaustão durante uma contração submáxima a 50 % quando os sujeitos estavam mentalmente fadigados (BROWN; BRAY, 2017). Sendo assim, é plausível afirmar que a ingestão de CAF prolongou e reverteu os efeitos da fadiga mental sobre a CVIS, aumentando a ENM. Esses resultados concordam com a literatura vigente que a CAF aumenta a ativação muscular em contrações isométricas (KALMAR; CAFARELLI, 2006), visto que sua ingestão promove o aumento da excitabilidade do moto neurônio supra espinhal que aumenta o recrutamento do reflexo H (BEHRENS et al., 2015; KALMAR; CAFARELLI, 2006). Visto essa ação neuromuscular, os efeitos periféricos não podem ser totalmente descartados, pois um fluxo glicolítico aumentado, a taxa de oxidação mitocondrial e a preservação de glicogênio muscular induzida pela oxidação lipídica também foram sugeridos com a ingestão de CAF (SÖKMEN et al., 2008; TARNOPOLSKY; CUPIDO, 2000; VAN SOEREN; GRAHAM, 1998). No entanto, alguns autores argumentam que é improvável que ocorram efeitos periféricos de CAF in vivo, uma vez que uma dosagem milimolar (suprafisiológica) pode ser necessária para induzir efeitos benéficos sobre o desempenho muscular (JAMES; WILSON; ASKEW, 2004; KALMAR; CAFARELLI, 2004). Assim, considerando que foi usado uma dosagem oral ~ 100 vezes menor do que as milimolares (JAMES; WILSON; ASKEW, 2004), é improvável que os ciclistas mentalmente fatigados tenham melhor desempenho no teste de CVIS devido a uma ação periférica da ingestão de CAF.

Como discutido anteriormente, o bloqueio neuronal dos receptores de adenosina A1, a atividade neuronal aumentada e a excitabilidade com a ingestão de CAF podem ter dificultado

os efeitos negativos da fadiga mental no desempenho do ciclismo. Assim, outro resultado interessante deste estudo foi a redução da ativação do CPF e córtex motor durante o exercício na condição FM + CAF quando comparadas às demais sessões. De fato, a lentificação da ativação cortical causada pela fadiga mental piora a condução das informações neurais para o músculo, reduzindo o output motor (MARTIN et al., 2018; VAN CUTSEM et al., 2017b). Em contrapartida alguns estudos na literatura apontam que a CAF aumenta a excitabilidade em nível supraespinal e cortical, assim aumentando a ativação da musculatura contrátil, ou seja, uma menor ativação cerebral resultaria em um maior recrutamento motor, tornando o sujeito mais eficiente (DE MORREE; KLEIN; MARCORA, 2014; KALMAR; DEL BALSIO; CAFARELLI, 2006; WALTON; KALMAR; CAFARELLI, 2003).

6.4 Efeitos da cafeína no desempenho do TT_{20km} e respostas psicológicas em ciclistas mentalmente fatigados

Independentemente da manipulação, a estratégia de ritmo em “J” foi adotada para todas as sessões no teste de ciclismo. Porém, a ingestão de CAF melhorou o desempenho em TT_{20km} conforme o tempo ($\downarrow \sim 1.8\%$ e 1.7%) e W_{MEAN} ($\uparrow \sim 4.4\%$ e 3.6%) melhoraram quando comparado às sessões FM e FM + PLA, respectivamente. Curiosamente, a CAF também alterou as respostas psicológicas durante o exercício em ciclistas mentalmente fatigados, uma vez que a CAF reduziu a taxa de PSE_w em toda a sessão FM + CAF no TT_{20km}, principalmente em distâncias intermediárias. Além disso, os ciclistas mentalmente fatigados apresentaram maior motivação nos primeiros 2 km, e maior afeto nos últimos 2 km quando ingeriram CAF. De alguma forma, essas mudanças com a ingestão de CAF podem estar relacionadas a mudanças na ativação do PFC.

Tem sido proposto que um desempenho bem-sucedido de testes de ciclismo de distância, como TT_{20km}, está relacionado à capacidade cognitiva dos indivíduos para preservar o controle inibitório ao lidar com sensações aversivas (MARTIN et al., 2016; MURAVEN; BAUMEISTER, 2000), pois os ciclistas seriam obrigados a avaliar adequadamente a relação de recompensa custo-benefício percebido durante o exercício, a fim de maximizar seu ritmo e concluir o teste o mais rápido possível. Como previamente argumentado, uma lentificação do CPF induzida pela fadiga mental pode ser uma ameaça para um desempenho bem-sucedido no TT_{20km}, já que o CPF está envolvido em um comportamento pró-ativo e dirigido por objetivos (EKKEKAKIS, 2009; MILLER; COHEN, 2001; PIRES et al., 2016). No presente estudo, observamos que a CAF bloqueou a redução da ativação do CPF induzida pela tarefa de alta

demanda cognitiva, aumentando assim o desempenho cognitivo e atenuando mudanças psicológicas, como sensação de fadiga mental, motivação, ativação e respostas relativas ao humor. Como resultado, os ciclistas iniciaram os TT_{20km} com maior motivação e prazer, além de perceberem a tarefa com menos esforço quando ingeriram CAF, como indicado pela maior motivação nos primeiros 2 km e afeto os últimos 2 km, e reduziram o PSE_w durante todo o teste. Talvez, a ingestão de CAF tenha impedido uma depleção cognitiva induzida pelo teste RVIP nos ciclistas antes do exercício (como sugerido pela onda teta EEG e resultados psicológicos após teste RVIP), permitindo assim que eles iniciassem e completassem os TT_{20km} sob estado psicológico melhorado. Como resultado, os ciclistas conseguiram melhorar o desempenho do TT_{20km}, apesar de não mudarem a estratégia de ritmo “J”. Resultados similares de CAF foram observados em indivíduos com fadiga mental, realizando um teste de ciclismo de tempo até a exaustão (AZEVEDO et al., 2016).

6.5 Efeito placebo no TT_{20km} em ciclistas mentalmente fadigados

Alguns resultados interessantes de PLA foram observados no presente estudo, uma vez que alterações semelhantes foram observadas na ativação do CPF após o teste RVIP nas sessões FM + CAF e FM + PLA. Embora usando um design clássico duplo-cego, os ciclistas pode ter experimentado algum efeito PLA, como a expectativa de ingerir uma substância ativa pode induzir respostas cerebrais na direção da substância ingerida (LIU, 2017; WAGER et al., 2004). Portanto, embora sabendo que eles tinham 50% de chances de ingerir CAF ou PLA em cada sessão experimental, a incerteza sobre a substância ingerida pode ter levado a esperar o efeito de CAF em ambos, induzindo assim alterações semelhantes no CPF. Ademais, um estudo recente observou que tanto a ingestão de CAF quanto de PLA induzem alterações cerebrais semelhantes (PIRES et al., 2018b). Adicionalmente, a ingestão de PLA atenuou as respostas de humor pós RVIP que pode ter sido influenciado pela possível expectativa gerada após a ingestão da cápsula e em contrapartida o sentimento de afeto piorou nos últimos 2 km do TT_{20km}, tal resposta que poderia ser fruto de uma possível decepção com o resultado desempenhado. Tais alterações psicológicas também são reflexo da influência da alteração do CPF (DA SILVA et al., 2017). No entanto, em contraste com os efeitos da CAF no desempenho do ciclismo, a ingestão de PLA foi ineficaz para melhorar o desempenho de ciclistas mentalmente fadigados.

6.6 Limitações do estudo e aplicações práticas

Diversos estudos sugerem que a CAF é um poderoso recurso ergogênico para melhorar o desempenho de *endurance* (DOHERTY; SMITH, 2005; GONCALVES et al., 2017; TARNOPOLSKY; CUPIDO, 2000), sendo sua ação no SNC o mecanismo de ação mais provável (AZEVEDO et al., 2016; KALMAR; CAFARELLI, 2004). Como argumentado anteriormente, a ingestão de CAF bloqueiam receptores de adenosina neuronal A₁ e aumentam a atividade neuronal e a excitabilidade, assim a CAF pode ter amenizado os efeitos negativos da fadiga mental no desempenho de ciclismo. Deve-se ressaltar, ainda, que os efeitos periféricos da ingestão de CAF não podem ser totalmente descartados, pois um fluxo glicolítico aumentado, a taxa de oxidação mitocondrial e a preservação de glicogênio muscular induzida pela oxidação lipídica também foram sugeridos após seu uso (SÖKMEN et al., 2008; TARNOPOLSKY; CUPIDO, 2000; VAN SOEREN; GRAHAM, 1998). No entanto, alguns autores argumentam que é improvável que ocorram efeitos periféricos de CAF *in vivo*, uma vez que uma dosagem milimolar (supra fisiológica) pode ser necessária para induzir efeitos benéficos sobre o desempenho muscular (JAMES; WILSON; ASKEW, 2004; KALMAR; CAFARELLI, 2004). Assim, considerando que usamos uma dosagem oral ~ 100 vezes menor do que as dosagens milimolares (James et al., 2004), é improvável que os ciclistas mentalmente fatigados tenham melhorado o desempenho no ciclismo devido a uma ação periférica da ingestão de CAF.

Estudos prévios mostraram que a ingestão de CAF bloqueou os efeitos negativos da fadiga mental em um exercício de ciclismo de tempo até exaustão (AZEVEDO et al., 2016). Adicionalmente, um estudo recente verificou que a fadiga mental prejudicou o desempenho do TT_{20km} (PIRES et al., 2018a). Assim, combinou-se as duas hipóteses, pois a ingestão de CAF, a fadiga mental e os testes de ciclismo TT baseados na distância constituem rotinas de treinamento e competição de ciclistas. De fato, o estudo de Stewart et al. (2013) verificaram que atletas mais comprometidos com o esporte, sentiam mais pressão por resultados e consequentemente tinham maior necessidade para usar suplementos a fim de melhorar o desempenho. Em contraste, os ciclistas recreacionais podem ser acometidos com fadiga mental quando competem e treinam, devido às rotinas de treinamento aeróbico de alto volume combinadas com um estilo de vida restrito nas atividades diárias (MARTIN et al., 2016; YEUNG, 1996). Os resultados do presente estudo são aplicados a situações práticas, pois verificamos que CAF pode bloquear efeitos negativos de fadiga mental no desempenho de

endurance durante um teste de ciclismo TT baseado na distância, que pode se assemelhar mais às condições encontradas nas competições de ciclismo e sessões de treinamento (ABBISS et al., 2016b; PINHEIRO; SANTOS; PIRES, 2016; SILVA et al., 2014).

A fim de potencializar a nossa manipulação de fadiga mental, administramos a CAF prontamente antes do teste RVIP. Como a ingestão oral de CAF exige um tempo prévio para surtir efeito de aproximadamente 45 min (Goldstein et al., 2010), os ciclistas tiveram que ingerir CAF imediatamente antes do teste RVIP de 40 min, já que a ingestão após o teste RVIP poderia colocar em risco os efeitos da manipulação de fadiga mental. Assim, apesar de a maioria dos efeitos da CAF ter ocorrido de 45 a 60 minutos após a ingestão, não podemos garantir que os ciclistas não tenham sentido alguns possíveis efeitos da CAF durante o RVIP. De fato, os ciclistas melhoraram seu desempenho cognitivo e relataram alterações psicológicas atenuadas após o teste RVIP na sessão FM + CAF. Estudos futuros podem elucidar se a ingestão de outro composto de ação central solúvel também pode reverter os efeitos da fadiga mental após o início da tarefa.

7 CONCLUSÃO

O presente estudo mostrou que a CAF reverteu os efeitos negativos da fadiga mental na ativação do CPF e no desempenho no TT_{20km}, em ciclistas recreativos mentalmente fatigados. A ingestão de CAF melhorou o desempenho cognitivo e atenuou as respostas psicológicas em uma tarefa alta demanda cognitiva, permitindo que os ciclistas iniciassem e completassem o teste de ciclismo com maior motivação e menor esforço percebido. Ademais, após a ingestão de CAF os sujeitos conseguiram um maior recrutamento de fibras musculares para uma menor ativação cerebral, sugerindo assim uma maior eficiência

REFERÊNCIAS

- ABBISS, C. R. et al. Difference in Pacing Between Time- and Distance-Based Time Trials in Trained Cyclists. **International journal of sports physiology and performance**, v. 11, n. 8, p. 1018–1023, nov. 2016a.
- ABBISS, C. R. et al. Difference in Pacing Between Time- and Distance-Based Time Trials in Trained Cyclists. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 11, n. 8, p. 1018–1023, nov. 2016b.
- ASTORINO, T. A. et al. Increases in cycling performance in response to caffeine ingestion are repeatable. **Nutrition Research**, v. 32, n. 2, p. 78–84, fev. 2012.
- AZEVEDO, R. et al. Effects of caffeine ingestion on endurance performance in mentally fatigued individuals. **European Journal of Applied Physiology**, v. 116, n. 11–12, p. 2293–2303, 30 dez. 2016.
- BARWICK, F.; ARNETT, P.; SLOBOUNOV, S. EEG correlates of fatigue during administration of a neuropsychological test battery. **Clin Neurophysiol**, v. 123, n. 2, p. 278–284, 2012.
- BEHRENS, M. et al. Caffeine-induced increase in voluntary activation and strength of the quadriceps muscle during isometric, concentric and eccentric contractions. **Scientific Reports**, v. 5, n. 1, p. 10209, 13 set. 2015.
- BOKSEM, M. A.; TOPS, M. Mental fatigue: costs and benefits. **Brain Res Rev**, v. 59, n. 1, p. 125–139, 2008.
- BORG, G. A. Psychophysical bases of perceived exertion. **Med Sci Sports Exerc**, v. 14, n. 5, p. 377–381, 1982.
- BORTOLOTTI, H. et al. Performance during a 20-km cycling time-trial after caffeine ingestion. **J Int Soc Sports Nutr**, v. 11, p. 45, 2014.
- BRAVER, T. S. The variable nature of cognitive control: a dual mechanisms framework. **Trends Cogn Sci**, v. 16, n. 2, p. 106–113, 2012.
- BRICK, N. E. et al. Altering Pace Control and Pace Regulation: Attentional Focus Effects during Running. **Med Sci Sports Exerc**, v. 48, n. 5, p. 879–886, 2016.
- BRICK, N. E.; MACINTYRE, T. E.; CAMPBELL, M. J. Thinking and Action: A Cognitive Perspective on Self-Regulation during Endurance Performance. **Front Physiol**, v. 7, p. 159, 2016.
- BRICK, N.; MACINTYRE, T.; CAMPBELL, M. Attentional focus in endurance activity: new paradigms and future directions. **International Review of Sport and Exercise Psychology**, v. 7, n. 1, p. 106–134, 2014.
- BRIETZKE, C. et al. Caffeine effects on VO₂max test outcomes investigated by a placebo perceived-as-caffeine design. **Nutrition and health**, v. 23, n. 4, p. 231–238, 7 dez. 2017.

BUSH, G.; LUU, P.; POSNER, M. I. Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. **Trends Cogn Sci**, v. 4, n. 6, p. 215–222, 2000.

CERQUEIRA, V. et al. Does caffeine modify corticomotor excitability? **Neurophysiologie clinique = Clinical neurophysiology**, v. 36, n. 4, p. 219–26, jul. 2006.

CHESLEY, A. et al. Regulation of muscle glycogenolytic flux during intense aerobic exercise after caffeine ingestion. **The American journal of physiology**, v. 275, n. 2 Pt 2, p. R596-603, ago. 1998.

CURRELL, K.; JEUKENDRUP, A. E. Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. **Sports medicine (Auckland, N.Z.)**, v. 38, n. 4, p. 297–316, 2008.

DA SILVA, W. Q. A. et al. Affect during incremental exercise: The role of inhibitory cognition, autonomic cardiac function, and cerebral oxygenation. **PLOS ONE**, v. 12, n. 11, p. e0186926, 1 nov. 2017.

DAVIS, J. M. et al. Central nervous system effects of caffeine and adenosine on fatigue. **Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol**, v. 284, n. 2, p. R399-404, 2003.

DE KONING, J. J. et al. Regulation of pacing strategy during athletic competition. **PLoS One**, v. 6, n. 1, p. e15863, 2011.

DE MORREE, H. M.; KLEIN, C.; MARCORA, S. M. Cortical substrates of the effects of caffeine and time-on-task on perception of effort. **J Appl Physiol (1985)**, v. 117, n. 12, p. 1514–1523, 2014.

DE PAUW, K. et al. Guidelines to classify subject groups in sport-science research. **International journal of sports physiology and performance**, v. 8, n. 2, p. 111–22, mar. 2013.

DE PAUW, K. et al. Effects of caffeine and maltodextrin mouth rinsing on P300, brain imaging, and cognitive performance. **J Appl Physiol (1985)**, v. 118, n. 6, p. 776–782, 2015.

DESBROW, B. et al. The effects of different doses of caffeine on endurance cycling time trial performance. **J Sports Sci**, v. 30, n. 2, p. 115–120, 2012.

DESCHENES, M. R. et al. Neural factors account for strength decrements observed after short-term muscle unloading. **American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology**, v. 282, n. 2, p. R578-83, fev. 2002.

DESLANDES, A. et al. Quantitative electroencephalography (qEEG) to discriminate primary degenerative dementia from major depressive disorder (depression). **Arquivos de neuro-psiquiatria**, v. 62, n. 1, p. 44–50, mar. 2004.

DIAMOND, A. Executive functions. **Annu Rev Psychol**, v. 64, p. 135–168, 2013.

DOHERTY, M.; SMITH, P. M. Effects of caffeine ingestion on rating of perceived exertion during and after exercise: a meta-analysis. **Scand J Med Sci Sports**, v. 15, n. 2, p. 69–78, 2005.

DREVETS, W. C. et al. Subgenual prefrontal cortex abnormalities in mood disorders. **Nature**, v. 386, n. 6627, p. 824–7, 24 abr. 1997.

DUNWIDDIE, T. V.; MASINO, S. A. The Role and Regulation of Adenosine in the Central Nervous System. **Annual Review of Neuroscience**, v. 24, n. 1, p. 31–55, mar. 2001.

EKKEKAKIS, P. Let them roam free? Physiological and psychological evidence for the potential of self-selected exercise intensity in public health. **Sports Med**, v. 39, n. 10, p. 857–888, 2009.

FITT, E.; PELL, D.; COLE, D. Assessing caffeine intake in the United Kingdom diet. **Food Chem**, v. 140, n. 3, p. 421–426, 2013.

FOSTER, C. et al. Effect of pacing strategy on cycle time trial performance. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 25, n. 3, p. 383–8, mar. 1993.

FOSTER, C. et al. Pattern of energy expenditure during simulated competition. **Med Sci Sports Exerc**, v. 35, n. 5, p. 826–831, 2003.

FREDHOLM, B. B. et al. Actions of caffeine in the brain with special reference to factors that contribute to its widespread use. **Pharmacol Rev**, v. 51, n. 1, p. 83–133, mar. 1999.

FUMOTO, M. et al. Ventral prefrontal cortex and serotonergic system activation during pedaling exercise induces negative mood improvement and increased alpha band in EEG. **Behavioural Brain Research**, v. 213, n. 1, p. 1–9, 12 nov. 2010.

GLAISTER, M. et al. Effects of dietary nitrate, caffeine, and their combination on 20-km cycling time trial performance. **J Strength Cond Res**, v. 29, n. 1, p. 165–174, 2015.

GOLDSTEIN, E. R. et al. International society of sports nutrition position stand: caffeine and performance. **J Int Soc Sports Nutr**, v. 7, n. 1, p. 5, 2010.

GONCALVES, L. S. et al. Dispelling the myth that habitual caffeine consumption influences the performance response to acute caffeine supplementation. **J Appl Physiol (1985)**, p. jap.00260.2017, 2017.

HALLER, J.; FREUND, T. F. Discovery research in neuropsychiatry - anxiety, depression and schizophrenia in focus. Editorial. **Neuroscience and biobehavioral reviews**, v. 37, n. 10 Pt 1, p. 2311, dez. 2013.

HARDY, C. J.; REJESKI, W. J. Not What, but How One Feels: The Measurement of Affect during Exercise. **Journal of Sport and Exercise Psychology**, v. 11, n. 3, p. 304–317, 1 set. 1989.

HASENFRATZ, M.; BÄTTIG, K. Acute dose-effect relationships of caffeine and mental performance, EEG, cardiovascular and subjective parameters. **Psychopharmacology**, v. 114, n. 2, p. 281–7, mar. 1994.

HETTINGA, F. J. et al. Pacing strategy and the occurrence of fatigue in 4000-m cycling time

trials. **Med Sci Sports Exerc**, v. 38, n. 8, p. 1484–1491, ago. 2006.

HETTINGA, F. J. et al. Editorial: Regulation of Endurance Performance: New Frontiers. **Frontiers in Physiology**, v. 8, p. 727, 21 set. 2017.

HODGSON, A. B.; RANDELL, R. K.; JEUKENDRUP, A. E. The metabolic and performance effects of caffeine compared to coffee during endurance exercise. **PLoS One**, v. 8, n. 4, p. e59561, 2013.

HOPKINS, W. G. et al. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. **Med Sci Sports Exerc**, v. 41, n. 1, p. 3–13, 2009.

HUNTER, S. K. et al. Task Differences With the Same Load Torque Alter the Endurance Time of Submaximal Fatiguing Contractions in Humans. **Journal of Neurophysiology**, v. 88, n. 6, p. 3087–3096, 10 out. 2002.

INZLICHT, M.; MARCORA, S. M. The Central Governor Model of Exercise Regulation Teaches Us Precious Little about the Nature of Mental Fatigue and Self-Control Failure. **Front Psychol**, v. 7, p. 656, 2016.

ISHII, A.; TANAKA, M.; WATANABE, Y. The neural substrates of self-evaluation of mental fatigue: a magnetoencephalography study. **PLoS One**, v. 9, n. 4, p. e95763, 2014a.

ISHII, A.; TANAKA, M.; WATANABE, Y. Neural mechanisms of mental fatigue. **Rev Neurosci**, v. 25, n. 4, p. 469–479, 2014b.

JACKSON, A. S.; POLLOCK, M. L. Generalized equations for predicting body density of men. **British journal of nutrition**, v. 40, n. 03, p. 497–504, 1978.

JAMES, R. S.; WILSON, R. S.; ASKEW, G. N. Effects of caffeine on mouse skeletal muscle power output during recovery from fatigue. **J Appl Physiol (1985)**, v. 96, n. 2, p. 545–552, fev. 2004.

KALMAR, J. M.; CAFARELLI, E. Caffeine: a valuable tool to study central fatigue in humans? **Exerc Sport Sci Rev**, v. 32, n. 4, p. 143–147, 2004.

KALMAR, J. M.; CAFARELLI, E. Central excitability does not limit postfatigue voluntary activation of quadriceps femoris. **Journal of Applied Physiology**, v. 100, n. 6, p. 1757–1764, jun. 2006.

KALMAR, J. M.; DEL BALSIO, C.; CAFARELLI, E. Increased spinal excitability does not offset central activation failure. **Experimental brain research**, v. 173, n. 3, p. 446–57, 28 ago. 2006.

KARAGEORGHIS, C. I. **Applying Music in exercise and sport**. [s.l.]: Human Kinetics, 2016.

KÄTHNER, I. et al. Effects of mental workload and fatigue on the P300, alpha and theta band power during operation of an ERP (P300) brain-computer interface. **Biol Psychol**, v. 102, p. 118–129, 2014.

KEANE, M. A.; JAMES, J. E.; HOGAN, M. J. Effects of dietary caffeine on topographic EEG after controlling for withdrawal and withdrawal reversal. **Neuropsychobiology**, v. 56, n. 4, p. 197–207, 2007.

LANDRUM, R. E. College students' use of caffeine and its relationship to personality. **College Student Journal**, v. 26, p. 151–155, 1992.

LIU, T. Route of placebo administration: Robust placebo effects in laboratory and clinical settings. **Neuroscience and biobehavioral reviews**, v. 83, p. 451–457, dez. 2017.

LOVATT, D. et al. Neuronal adenosine release, and not astrocytic ATP release, mediates feedback inhibition of excitatory activity. **Proc Natl Acad Sci U S A**, v. 109, n. 16, p. 6265–6270, 17 abr. 2012.

MARCORA, S. M.; STAIANO, W.; MANNING, V. Mental fatigue impairs physical performance in humans. **J Appl Physiol (1985)**, v. 106, n. 3, p. 857–864, 1 mar. 2009.

MARTIN, K. et al. Superior Inhibitory Control and Resistance to Mental Fatigue in Professional Road Cyclists. **PLoS One**, v. 11, n. 7, p. e0159907, 2016.

MARTIN, K. et al. Mental Fatigue Impairs Endurance Performance: A Physiological Explanation. **Sports Medicine**, v. 48, n. 9, p. 2041–2051, 19 set. 2018.

MAU-MOELLER, A. et al. Neuromuscular function of the quadriceps muscle during isometric maximal, submaximal and submaximal fatiguing voluntary contractions in knee osteoarthritis patients. **PloS one**, v. 12, n. 5, p. e0176976, 15 maio 2017.

MAURITS, N. **From Neurology to Methodology and Back An Introduction to Clinical Neuroengineering**. London: [s.n.].

MEEUSEN, R.; ROELANDS, B.; SPRIET, L. L. Caffeine, exercise and the brain. **Nestle Nutr Inst Workshop Ser**, v. 76, p. 1–12, 2013.

MICKLEWRIGHT, D. et al. Will the Conscious-Subconscious Pacing Quagmire Help Elucidate the Mechanisms of Self-Paced Exercise? New Opportunities in Dual Process Theory and Process Tracing Methods. **Sports Med**, v. 47, n. 7, p. 1231–1239, 25 jul. 2016.

MILLER, E. K.; COHEN, J. D. An integrative theory of prefrontal cortex function. **Annu Rev Neurosci**, v. 24, p. 167–202, 2001.

MILLER, M.; DOWNHAM, D.; LEXELL, J. Superimposed single impulse and pulse train electrical stimulation: A quantitative assessment during submaximal isometric knee extension in young, healthy men. **Muscle & nerve**, v. 22, n. 8, p. 1038–46, ago. 1999.

MOTES, M. A. et al. Inhibitory control gains from higher-order cognitive strategy training. **Brain Cogn**, v. 84, n. 1, p. 44–62, 2014.

MURAVEN, M.; BAUMEISTER, R. F. Self-regulation and depletion of limited resources: does self-control resemble a muscle? **Psychological bulletin**, v. 126, n. 2, p. 247–59, mar. 2000.

NOAKES, T. D. Linear relationship between the perception of effort and the duration of constant load exercise that remains. In: **J Appl Physiol** (1985). United States: [s.n.]. v. 96p. 1571–1573.

PAGEAUX, B. et al. Response inhibition impairs subsequent self-paced endurance performance. **Eur J Appl Physiol**, v. 114, n. 5, p. 1095–1105, 2014a.

PAGEAUX, B. et al. Response inhibition impairs subsequent self-paced endurance performance. **Eur J Appl Physiol**, v. 114, n. 5, p. 1095–1105, 15 maio 2014b.

PÉREZ-LANDALUCE, J. et al. Physiological differences and rating of perceived exertion (RPE) in professional, amateur and young cyclists. **The Journal of sports medicine and physical fitness**, v. 42, n. 4, p. 389–95, dez. 2002.

PINHEIRO, F. A.; SANTOS, T. M.; PIRES, F. O. Conscious distance monitoring and perceived exertion in light-deprived cycling time trial. **Physiol Behav**, v. 165, p. 211–216, 2016.

PIRES, F. O. et al. Cardiopulmonary, blood metabolite and rating of perceived exertion responses to constant exercises performed at different intensities until exhaustion. **Br J Sports Med**, v. 45, n. 14, p. 1119–1125, 1 nov. 2011.

PIRES, F. O. et al. Cerebral Regulation in Different Maximal Aerobic Exercise Modes. **Front Physiol**, v. 7, p. 253, 2016.

PIRES, F. O. et al. Mental fatigue alters cortical activation and psychological responses, impairing performance in a distance-based cycling trial. **Frontiers in physiology**, 2018a.

PIRES, F. O. et al. Caffeine and Placebo Improved Maximal Exercise Performance Despite Unchanged Motor Cortex Activation and Greater Prefrontal Cortex Deoxygenation. **Frontiers in Physiology**, v. 9, p. 1144, 2018b.

PITCHFORD, N. W. et al. Effect of caffeine on cycling time-trial performance in the heat. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 17, n. 4, p. 445–449, jul. 2014.

QI, G. et al. Adenosine Differentially Modulates Synaptic Transmission of Excitatory and Inhibitory Microcircuits in Layer 4 of Rat Barrel Cortex. **Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)**, v. 27, n. 9, p. 4411–4422, 1 set. 2017.

RENFREE, A. et al. Application of decision-making theory to the regulation of muscular work rate during self-paced competitive endurance activity. **Sports Med**, v. 44, n. 2, p. 147–158, 2014.

RICCI, J. A. et al. Fatigue in the U.S. workforce: prevalence and implications for lost productive work time. **Journal of occupational and environmental medicine**, v. 49, n. 1, p. 1–10, jan. 2007.

ROBERTSON, C. V.; MARINO, F. E. A role for the prefrontal cortex in exercise tolerance and termination. **Journal of Applied Physiology**, v. 120, n. 4, p. 464–466, 15 fev. 2016.

SIEPMANN, M.; KIRCH, W. Effects of Caffeine on Topographic Quantitative EEG. **Neuropsychobiology**, v. 45, n. 3, p. 161–166, 2002.

SIGMON, S. C. et al. Caffeine withdrawal, acute effects, tolerance, and absence of net beneficial effects of chronic administration: cerebral blood flow velocity, quantitative EEG, and subjective effects. **Psychopharmacology**, v. 204, n. 4, p. 573–85, 25 jul. 2009.

SILVA-JÚNIOR, F. L. E et al. Prior Acute Mental Exertion in Exercise and Sport. v. 12, n. 1, p. 94–107, 31 out. 2016.

SILVA, R. A. et al. Acute prior heavy strength exercise bouts improve the 20-km cycling time trial performance. **J Strength Cond Res**, v. 28, n. 9, p. 2513–2520, 2014.

SIRI, W. E. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. **Techniques for measuring body composition**, v. 61, p. 223–244, 1961.

SMITH, M. R. et al. Mental Fatigue Impairs Soccer-Specific Physical and Technical Performance. **Med Sci Sports Exerc**, v. 48, n. 2, p. 267–276, 2016.

SMITS, B. L.; PEPPING, G. J.; HETTINGA, F. J. Pacing and decision making in sport and exercise: the roles of perception and action in the regulation of exercise intensity. **Sports Med**, v. 44, n. 6, p. 763–775, 2014.

SÖKMEN, B. et al. Caffeine use in sports: considerations for the athlete. **J Strength Cond Res**, v. 22, n. 3, p. 978–986, 2008.

ST CLAIR GIBSON, A.; SWART, J.; TUCKER, R. The interaction of psychological and physiological homeostatic drives and role of general control principles in the regulation of physiological systems, exercise and the fatigue process - The Integrative Governor theory. **Eur J Sport Sci**, p. 1–12, 2017.

STEWART, B.; OUTRAM, S.; SMITH, A. C. T. Doing supplements to improve performance in club cycling: a life-course analysis. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, v. 23, n. 6, p. e361-72, dez. 2013.

SVEBAK, S.; MURGATROYD, S. Metamotivational dominance: a multimethod validation of reversal theory constructs. **Journal of Personality and Social Psychology**, v. 48, n. 1, p. 107, 1985.

TARNOPOLSKY, M.; CUPIDO, C. Caffeine potentiates low frequency skeletal muscle force in habitual and nonhabitual caffeine consumers. **J Appl Physiol (1985)**, v. 89, n. 5, p. 1719–1724, nov. 2000.

TENENBAUM, G.; EKLUND, R. C. (ROBERT C. **Handbook of sport psychology**. [s.l.]: Wiley, 2007.

ULMER, H. V. Concept of an extracellular regulation of muscular metabolic rate during heavy exercise in humans by psychophysiological feedback. **Experientia**, v. 52, n. 5, p. 416–420, 1996.

VAN CUTSEM, J. et al. Effects of Mental Fatigue on Endurance Performance in the Heat. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 49, n. 8, p. 1677–1687, ago. 2017a.

VAN CUTSEM, J. et al. The Effects of Mental Fatigue on Physical Performance: A Systematic Review. **Sports Med**, v. 47, n. 8, p. 1569–1588, ago. 2017b.

VAN DER LINDEN, D.; FRESE, M.; MEIJMAN, T. F. Mental fatigue and the control of cognitive processes: effects on perseveration and planning. **Acta psychologica**, v. 113, n. 1, p. 45–65, maio 2003.

VAN INGEN SCHENAU, G. J.; DE KONING, J. J.; DE GROOT, G. The distribution of anaerobic energy in 1000 and 4000 metre cycling bouts. **Int J Sports Med**, v. 13, n. 6, p. 447–451, 1992.

VAN SOEREN, M. H.; GRAHAM, T. E. Effect of caffeine on metabolism, exercise endurance, and catecholamine responses after withdrawal. **J Appl Physiol (1985)**, v. 85, n. 4, p. 1493–1501, 1998.

VIANA, M. F.; ALMEIDA, P.; SANTOS, R. C. Adaptação portuguesa da versão reduzida do Perfil de Estados de Humor–POMS. **Análise Psicológica**, v. 19, n. 1, p. 77–92, 2012.

WAGER, T. D. et al. Placebo-Induced Changes in fMRI in the Anticipation and Experience of Pain. **Science**, v. 303, n. 5661, p. 1162–1167, 20 fev. 2004.

WALTON, C.; KALMAR, J.; CAFARELLI, E. Caffeine increases spinal excitability in humans. **Muscle & nerve**, v. 28, n. 3, p. 359–64, set. 2003.

WANG, X. et al. Cerebral and neural regulation of cardiovascular activity during mental stress. **BioMedical Engineering OnLine**, v. 15, n. S2, p. 160, 28 dez. 2016.

WASCHER, E. et al. Frontal theta activity reflects distinct aspects of mental fatigue. **Biol Psychol**, v. 96, p. 57–65, 2014.

WINTER, D. A. **Biomechanics and Motor Control of Human Movement**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2009.

YEUNG, R. R. The acute effects of exercise on mood state. **J Psychosom Res**, v. 40, n. 2, p. 123–141, 1996.

ZHENG, X.; HASEGAWA, H. Administration of caffeine inhibited adenosine receptor agonist-induced decreases in motor performance, thermoregulation, and brain neurotransmitter release in exercising rats. **Pharmacol Biochem Behav**, v. 140, p. 82–89, 2016.

ANEXO A – ESCALA DE PERCEPÇÃO SUBJETIVA DO ESFORÇO**ESCALA DE BORG****6****7- Muito Fácil****8****9- Fácil****10****11- Relativamente Fácil****12****13- Ligeiramente Cansativo****14****15- Cansativo****16****17- Muito Cansativo****18****19- Exaustivo****20**

ANEXO B – QUESTIONÁRIO DE HUMOR

Escala:

0 = nada

1 = um pouco

2 = moderadamente

3 = bastante

4 = extremamente

	0	1	2	3	4
1. Apavorado	☐	☐	☐	☐	☐
2. Animado	☐	☐	☐	☐	☐
3. Confuso	☐	☐	☐	☐	☐
4. Esgotado	☐	☐	☐	☐	☐
5. Deprimido	☐	☐	☐	☐	☐
6. Desanimado	☐	☐	☐	☐	☐
7. Irritado	☐	☐	☐	☐	☐
8. Exausto	☐	☐	☐	☐	☐
9. Inseguro	☐	☐	☐	☐	☐
10. Sonolento	☐	☐	☐	☐	☐
11. Zangado	☐	☐	☐	☐	☐
12. Triste	☐	☐	☐	☐	☐
13. Ansioso	☐	☐	☐	☐	☐
14. Preocupado	☐	☐	☐	☐	☐
15. Com disposição	☐	☐	☐	☐	☐
16. Infeliz	☐	☐	☐	☐	☐
17. Desorientado	☐	☐	☐	☐	☐
18. Tenso	☐	☐	☐	☐	☐
19. Com raiva	☐	☐	☐	☐	☐
20. Com energia	☐	☐	☐	☐	☐
21. Cansado	☐	☐	☐	☐	☐
22. Mal-humorado	☐	☐	☐	☐	☐
23. Alerta	☐	☐	☐	☐	☐
24. Indeciso	☐	☐	☐	☐	☐

ANEXO C – ESCALA VISUAL ANALÓGICA

ANEXO D – ESCALA DE ATIVAÇÃO**FELT AROUSAL SCALE (FAS)**

(Svebak & Murgatroyd, 1985)

Estimate here how aroused you actually feel. Do this by circling the appropriate number. By “arousal” we meant how “worked-up” you feel. You might experience high arousal in one of a variety of ways, for example as excitement or anxiety or anger. Low arousal might also be experienced by you in one of a number of different ways, for example as relaxation or boredom or calmness.

1 LOW AROUSAL**2****3****4****5****6 HIGH AROUSAL**

ANEXO E – ESCALA DE AFETO

-5	Very Bad
-4	
-3	Bad
-2	
-1	Fairly Bad
0	
+1	Fairly Good
+2	
+3	Good
+4	
+5	Very Good

ANEXO F – QUESTIONÁRIO DE CONSUMO DE CAFEÍNA

Por favor, preencha o questionário abaixo a respeito de seu uso frequente de cafeína. Indique o número de vezes que você consome os seguintes produtos durante uma semana. Forneça um valor aproximado de acordo com as porções estipuladas para cada grupo de alimentos\produtos.

	MANHÃ 6 am-12	TARDE 12nn-18:00	NOITE 6 pm-12m	NOITE 12m-06:00
CAFÉ (Porções de 200ml = 1 xícara) <ul style="list-style-type: none"> • Em pó • Orgânico • Espresso • Instantâneo • Descafeinado • Extra-Forte • Capuccino 				
CHÁ (Porções 200ml = 1 xícara) <ul style="list-style-type: none"> • Chá verde • Chá preto • Chá Mate • _____ • _____ 				
CACAU (Porções 147ml / semana) <ul style="list-style-type: none"> • Industrializado • Cacau 50% • Cacau 70% • Cacau 80% 				
CHOCOLATE (Porções de 240ml = 01 copo americano) <ul style="list-style-type: none"> • Chocolate Amargo • Chocolate ao Leite • Chocolate branco 				

REFRIGERANTES (Porções de 240ml = 01 copo americano) <ul style="list-style-type: none"> • Coca Cola • Coca Cola Zero • Guaraná Antarctica • Guaraná Zero • Pepsi Cola • Diet Pepsi • Guaraná Black 				
DROGAS (comprimidos / semana) <ul style="list-style-type: none"> • Excedrin • Torsilax • Sedalgina • Neosaldina • Tandrilax • Benegrip • Coristina D • Engov • Tylenol 				
BEBIDAS ENERGÉTICAS (01 lata = 250 ml) <ul style="list-style-type: none"> • Redbull • Burn • Flying Horse • Monster Energy Drink • TNT 				

Total = _____

"O uso de cafeína e sua relação com a personalidade," os estudantes universitários por RE Landrum, 1992, Cotley Estudante formal, 26. p.1S2