

RAFAEL LEAL DANTAS ESTRELA

**A INGESTÃO DE CAFEÍNA NÃO ALTERA A CINÉTICA DO
CONSUMO DE OXIGÊNIO E FADIGA MUSCULAR EM
EXERCÍCIO AERÓBIO DE ALTA INTENSIDADE**

**FLORIANÓPOLIS
2017**

RAFAEL LEAL DANTAS ESTRELA

**A INGESTÃO DE CAFEÍNA NÃO ALTERA A CINÉTICA DO
CONSUMO DE OXIGÊNIO E FADIGA MUSCULAR EM
EXERCÍCIO AERÓBIO DE ALTA INTENSIDADE**

Dissertação de mestrado apresentada ao programa de Pós-graduação em Educação Física, da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para obtenção do título de Mestre em Educação Física.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo.

Co-orientador: Prof. Paulo Cesar do Nascimento Salvador.

**FLORIANÓPOLIS
2017**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Estrela, Rafael Leal Dantas

A ingestão de cafeína não altera a cinética do consumo de oxigênio e fadiga muscular em exercício aeróbio de alta intensidade / Rafael Leal Dantas Estrela ; orientador, Prof. Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo, coorientador, Prof. Paulo Cesar do Nascimento. Salvador, 2017.

109 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Desportos, Programa de Pós Graduação em Educação Física, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

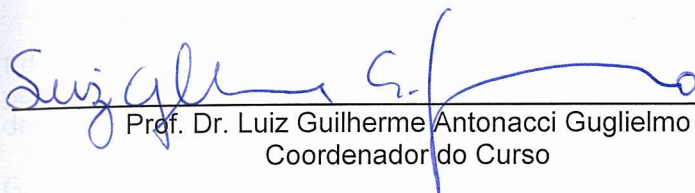
1. Educação Física. 2. cinética do consumo de oxigênio. 3. cafeína. 4. fadiga. I. Guglielmo, Prof. Dr. Luiz Guilherme Antonacci. II. Salvador, Prof. Paulo Cesar do Nascimento. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Física. IV. Título.

Rafael Leal Dantas Estrela

**A INGESTÃO DE CAFEÍNA NÃO ALTERA A CINÉTICA DO
CONSUMO DE OXIGÊNIO E FADIGA MUSCULAR EM
EXERCÍCIO AERÓBIO DE ALTA INTENSIDADE**

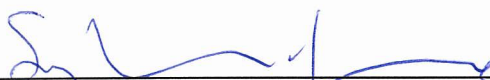
Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de "Mestre em Educação Física", e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Educação Física da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 16 de fevereiro de 2017.



Prof. Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo
Coordenador do Curso


Banca Examinadora:




Prof. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo, Dr. - Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina.



Prof. Benedito Sérgio Denadai, Dr.
Universidade Estadual Paulista



Prof. Ricardo Dantas de Lucas, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina.



Prof. Fabrizio Caputo, Dr.
Universidade do Estado de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de força, sabedoria e proteção.

A meus pais, meus maiores incentivadores, em especial a melhor mãe do mundo, Teresinha, que fez inúmeros sacrifícios no decorrer de sua vida em prol dos filhos e que sempre conforta meu coração com carinho e palavras de fé e amor.

A minha amada Juli, meu muito obrigado pelo apoio, paciência e compreensão, pois mesmo sabendo que a distância geográfica se faria presente entre nós, nunca deixou de me apoiar nesta importante fase de minha trajetória acadêmica.

A meus familiares, pessoas que sempre me apoiaram.

Aos professores do programa de Pós-graduação em Educação Física da Universidade Federal de Santa Catarina, pela dedicação ao programa e pelo excelente trabalho desenvolvido.

A meu orientador, Prof. Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo, por seu profissionalismo, atenção, confiança, ensinamentos, dedicação ao crescimento do programa de Pós-graduação, amizade e por acreditar no meu potencial.

Ao meu co-orientador, Prof. Paulo César do Nascimento Salvador, pela grande disponibilidade em ajudar desde a concepção desta pesquisa, pela paciência, parceria e pelo grandioso dom de ensinar o que sabe.

Aos professores, Fabrizio Caputo, Ricardo Dantas, Benedito Denadai e Daniele Detânico, pelas valorosas contribuições neste trabalho de pesquisa.

Aos integrantes do LAEF, Thiago, Renan, PC, Daiane, Myla, Pablo, Loyola, Helal, Lucas, Geovane, Cris, Kristopher, Naiandra, Anderson, Rose, Mariana, Alexandre, Elisa, Marília, Ortiz, Telmo, Pedro, Flávia, Anahí e Wesley. Muito obrigado pelo acolhimento, disponibilidade em ajudar e por cultivarem um clima tão harmonioso e familiar em nosso ambiente de trabalho. Todos contribuíram para a consolidação de ótimas amizades e lembranças que o tempo não apagará.

Aos voluntários da pesquisa, agradeço imensamente pela vontade de ajudar e por literalmente terem dado sangue para que esta pesquisa se concretizasse.

Aos grandes amigos e colegas de pós-graduação da Bahia. Todos vocês ajudaram a tornar mais fácil esta adaptação no Sul do Brasil. Não é fácil se afastar de casa e das pessoas

que amamos e vocês sempre disponibilizaram o velho ombro amigo. Destaco aqui Mônica, Angelo, Ricardo, Saulo, Morbeck, Moura, Andree e João, todos vocês são especiais.

À UNEB, sou muito grato a minha instituição que, com seu apoio, possibilitou meu afastamento remunerado das atividades docentes para que fosse possível buscar conhecimento e aprimoramento profissional fora da Bahia. Meus sinceros agradecimentos aos colegas professores de meu departamento, colegiado, funcionários e alunos pelos votos de incentivo.

RESUMO

No decorrer do esforço físico intenso, a eficiência muscular diminui e surge então um consumo adicional de oxigênio conhecido como componente lento. Tal fato, relaciona-se ao processo de instalação da fadiga muscular. A presente pesquisa teve como objetivo analisar o efeito agudo da ingestão de cafeína no comportamento da cinética do consumo de oxigênio (VO_2), fadiga muscular, parâmetros fisiológicos e na percepção subjetiva de esforço em indivíduos fisicamente ativos durante um exercício de ciclismo de alta intensidade. No que diz respeito às hipóteses aventou-se que; H1: a ingestão de cafeína diminuiria a amplitude do componente lento do VO_2 , H2: a fadiga muscular seria atenuada com a ingestão de cafeína, H3: haveria influência da ingestão de cafeína na relação fadiga muscular e componente lento do VO_2 . H4: a cafeína seria capaz de elevar a concentração de lactato sanguíneo, H5: a cafeína iria diminuir a percepção subjetiva de esforço (PSE). Trata-se de um estudo transversal de cunho quantitativo, exploratório e experimental. Participaram do estudo 12 voluntários para avaliação dos parâmetros da cinética do VO_2 e da fadiga a partir do pico de torque obtido no cicloergômetro nas situações que envolvem o uso da cafeína e do placebo com o uso do método duplo-cego. Os voluntários foram submetidos à execução de um protocolo de exercício de carga constante de alta intensidade (acima do LV_2) e de *sprints* isocinéticos (120rpm) com duração de 5 segundos antes e após a ingestão de cafeína ($6\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), que assim como o placebo foi administrada na forma de cápsulas. Foi aplicado o teste *t-student* para verificar as diferenças nas variáveis relacionadas à cinética do VO_2 , enquanto que para a análise das demais variáveis foi utilizada a análise de variância de medidas repetidas. Adotou-se um nível de significância de $p < 0,05$. Os resultados revelaram que a cafeína não foi capaz de alterar a cinética do VO_2 , o pico de torque ($F=0,00$ e $p=0,99$), e a frequência cardíaca ($F=0,98$ e $p=0,76$), no entanto, reduziu a PSE ($F=16,03$ e $P=0,002$) e aumentou a concentração sanguínea de lactato ($F=138,9$ e $P < 0,01$). Sendo assim, conclui-se que a ingestão de cafeína não foi capaz de prover efeito ergogênico na amostra como um todo, mesmo diante de uma PSE reduzida.

Palavras-chave: cinética do consumo de oxigênio, cafeína, fadiga.

ABSTRACT

In the course of intense physical exertion, muscle efficiency decreases and then an additional oxygen consumption known as a slow component arises. This fact is related to the process of the origin of muscle fatigue. The present study aimed to analyze the acute effect of caffeine intake on the behavior of the kinetics of oxygen consumption (VO_2), muscular fatigue, physiological parameters and the subjective perception of effort in physically active individuals. With respect to the hypotheses it is perceived that; H1: Caffeine intake will decrease the amplitude of the slow component of VO_2 , H2: muscle fatigue will be attenuated with caffeine intake, H3: there will be influence of caffeine intake on muscle fatigue and slow component of VO_2 . H4: caffeine will be able to raise blood lactate concentration, H5: caffeine will decrease the subjective perception of effort (PSE). This is a cross-sectional, quantitative, exploratory and experimental study. Twelve volunteers participated of the study to evaluate the parameters of the kinetics of VO_2 and fatigue from the peak torque obtained in the cycle ergometer in situations involving the use of caffeine and placebo with the use of the double-blind method. The volunteers were submitted to a protocol of exercise of constant load of high intensity (above of LV_2) and isokinetics sprints with duration of 5 seconds before and after the ingestion of caffeine, which like the placebo it was administered in the form of capsules. The t-student test was applied to verify the differences in the variables related to the kinetics of VO_2 , while for the analysis of the other variables, the analysis of variance of repeated measures was used. A significance level of $p < 0.05$ was adopted. The results showed that caffeine was not able to change the kinetics of VO_2 , the peak torque ($F=0.00$ and $p=0.99$), and heart rate ($F=0.98$ and $p=0.76$), however, it reduced PSE ($F=16.03$ and $P=0.002$) and increased blood lactate concentration ($F=138.9$ and $P<0.01$). Thus, it was concluded that caffeine was not able to provide an ergogenic effect in the sample as a whole, even in the face of reduced PSE.

Key words: kinetics of oxygen consumption, caffeine, fatigue.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Cinética do consumo de oxigênio nos domínios moderado, pesado e severo (abaixo do VO_2max). A área sombreada corresponde ao componente lento do consumo de oxigênio. Os números 1, 2 e 3 indicam as três fases da cinética do VO_2 34
- Figura 2 - Parâmetros utilizados para descrever a cinética do VO_2 , em um modelo biexponencial. LB, linha de base; A; amplitude do aumento no VO_2 ; A1, do componente primário (rápido); A2, do componente secundário (lento); Tau, constante tempo (definida como o tempo requerido para atingir 63% de A); Tau1, componente primário; Tau2, componente lento; TA, tempo de atingimento do VO_2 ; TA2, tempo para o início do componente lento. 35
- Figura 3 - Fases de propulsão e recuperação de um ciclo completo da pedalada no ciclismo. 40
- Figura 4 - Sequência de procedimentos realizados em visitas ao laboratório..... 51
- Figura 5 - Resposta do VO_2 ao exercício de alta intensidade ($\Delta 60$) de carga constante com duração de 480 segundos em duas condições diferentes (placebo e cafeína). Os valores de consumo de oxigênio estão apresentados em média do grupo (12 sujeitos). Círculos abertos representam o VO_2 sob efeito da cafeína e os círculos sólidos demonstram o VO_2 , após a ingestão da cápsula placebo. 61
- Figura 6 - Resposta da frequência cardíaca (FC) ao exercício severo ($\Delta 60$) de carga constante com duração de 480 segundos em duas condições diferentes (placebo e cafeína). Os valores da FC foram obtidos a partir do cálculo da média da FC dos 12 voluntários do estudo em cada intervalo de tempo. Círculos sólidos representam a FC sob efeito da cápsula placebo e os quadrados sólidos na cor preta demonstram a FC, após a ingestão da cafeína. 63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%FCmax	percentual da FCmax
[La]	concentração de lactato sanguíneo.
A_p	amplitude do VO_2 na fase fundamental
A_2	amplitude do componente lento de VO_2
ATP	adenosina trifosfato
Ca^{2+}	cálcio
FC	frequência cardíaca
FCmax	frequência cardíaca máxima
H^+	hidrogênio
LTF_1	primeiro limiar de transição fisiológica
LTF_2	segundo limiar de transição fisiológica
LV_1	Limiar ventilatório 1.
LV_2	Limiar ventilatório 2.
MLSS	<i>maximal lactate steady-state</i>
Na^+	sódio
OBLA	<i>Onset blood lactate acumulation</i>
PCr	fosfocreatina
Pi	fosfato inorgânico
Rpm	rotações por minuto
TD_p	tempo de atraso na fase fundamental
TD_s	tempo de atraso na terceira fase
Tlim	tempo de exercício até a exaustão
$VO_2(t)$	VO_2 absoluto num dado tempo t
VO_2	consumo de oxigênio
VO_{2base}	média de VO_2 no período de linha de base
VO_{2CL}	componente lento do consumo de oxigênio
VO_{2max}	consumo máximo de oxigênio
vVO_{2max}	velocidade em que o consumo máximo de oxigênio é atingido.
W	Watts
τ	Tau constante tempo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1 JUSTIFICATIVA	24
1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	25
2. OBJETIVOS	27
2.1 OBJETIVO GERAL	27
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
2.3 HIPÓTESES	27
3 DEFINIÇÃO DE VARIÁVEIS	29
4. REVISÃO DE LITERATURA	31
4.1 CINÉTICA DO CONSUMO DE OXIGÊNIO	31
4.2 FATORES QUE INFLUENCIAM O VO_{2CL}	33
4.3 FADIGA MUSCULAR	36
4.4 PERCEPÇÃO SUBJETIVA DE ESFORÇO (PSE)	38
4.5 PICO DE TORQUE (PT)	39
4.6 CAFEÍNA: CARACTERÍSTICAS, EFEITOS ERGOGÊNICOS E SEUS MECANISMOS DE AÇÃO	40
5 MATERIAIS E MÉTODO	45
5.1 MODELO DO ESTUDO	45
5.2 SUJEITOS DO ESTUDO	45
5.3.1 Obtenção das variáveis antropométricas	46
5.3.2 Obtenção de informações sobre rotina alimentar	46
5.3.3 Obtenção das variáveis fisiológicas	46
5.3.4 Aferição do Pico de Torque e inferência sobre a Fadiga	47
5.3.5 Análise do lactato sanguíneo	47
5.4 ASPECTOS ÉTICOS	47
5.5 PROCEDIMENTOS DA COLETA DE DADOS	48
5.5.1 Avaliação antropométrica	52
5.5.2 Ensaio duplo cego	52
5.5.3 Administração da Cafeína	52
5.5.4 Protocolo do teste incremental, <i>sprint</i> e de carga constante	53

5.5.5 Determinação do limiar ventilatório.....	55
5.5.6 Determinação dos parâmetros da cinética VO₂.....	55
5.5.7 Identificação do pico de torque isocinético (PT).....	56
5.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	57
6 RESULTADOS.....	59
6.1 CARACTERÍSTICAS DOS SUJEITOS.....	59
6.2 CAFEÍNA X PLACEBO NA CINÉTICA DO CONSUMO DE OXIGÊNIO.....	59
6.3 CAFEINA X PLACEBO NA FREQUÊNCIA CARDÍACA (FC), CONCENTRAÇÕES DE LACTATO SANGUÍNEO [LA] E DE PERCEPÇÃO SUBJETIVA DE ESFORÇO (PSE).....	61
6.4 CAFEÍNA X PLACEBO NO PICO DE TORQUE (PT).....	64
7 DISCUSSÃO.....	65
8 CONCLUSÃO.....	83
LIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	83
REFERÊNCIAS.....	85
APÊNDICE.....	97
APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO DE CONSUMO HABITUAL DE CAFEÍNA.....	98
APÊNDICE B - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE).....	102
ANEXO.....	107
ANEXO A - ALIMENTOS COM CAFEÍNA.....	108
ANEXO B - ESCALA DE IDENTIFICAÇÃO DA PERCEPÇÃO SUBJETIVA DE ESFORÇO PROPOSTA POR BORG (BORG, 2000).....	109

1. INTRODUÇÃO

A suplementação de cafeína tem sido amplamente estudada em função do seu potencial efeito ergogênico na performance esportiva. Assim sendo, vários estudos apontam a melhoria do desempenho aeróbio e anaeróbio após sua ingestão (DE POLI et. al., 2016; GOLDSTEIN et. al., 2010; BLACK; WADDELL; GONGLACH, 2015; BURKE, 2008; CRUZ et. al., 2015), tornando assim, a sua utilização amplamente difundida no meio esportivo (BURKE, 2008).

Segundo Goldstein et. al. (2010), assim como, em exercícios de força, a performance em exercícios aeróbios de alta intensidade tem sido aprimorada com a suplementação de cafeína, pois essa substância atua no funcionamento do músculo esquelético propiciando uma maior produção de força (GRAHAM, 2001). Tal aprimoramento pode ser resultado dos efeitos periféricos da cafeína na manutenção da homeostase de eletrólitos, melhorando a liberação de cálcio pelo retículo sarcoplasmático, que favorece a contração muscular (GRAHAM, 2001), ou por um efeito sobre o sistema nervoso central (SNC) que proporciona o aumento da amplitude do potencial motor evocado, resultando em melhor ativação de unidades motoras (KALMAR, 2005).

Sobre o trabalho das unidades motoras, sabe-se que a manutenção de um gradiente eletroquímico de sódio (Na^+) e K^+ , é importante para os processos de transmissão do impulso e de contração muscular (LINDIGER; GRAHAM; SPRIET, 1993; DAVIS; VERDE, 2009), pois durante as contrações musculares, a despolarização da célula promove a liberação de potássio (K^+) para o líquido extracelular, que pode, então, difundir-se para o plasma sanguíneo. Diante do fato que elevada concentração de K^+ extracelular, associada à fadiga (LINDIGER; GRAHAM; SPRIET, 1993), impedir um aumento da $[\text{K}^+]$ no meio extracelular pode criar um ambiente mais favorável para a contração muscular, o que é potencialmente capaz de retardar a fadiga. Sobre isso, tem sido demonstrado, que a cafeína foi capaz de atenuar o aumento da $[\text{K}^+]$ no plasma durante o exercício aeróbio (LINDIGER; GRAHAM; SPRIET, 1993; DAVIS; VERDE, 2009).

Em relação aos mecanismos centrais, a substância neurotransmissora adenosina é capaz de aumentar a percepção da dor, induzir o sono, reduzir a excitação, deprimir a atividade

locomotora espontânea e agir como um neuromodulador (BARRACO et. al., 1983). A cafeína que compete pelos receptores de adenosina no SNC, ao atravessar a barreira hematoencefálica, mostrou-se capaz de atenuar estes efeitos ao inibir a adenosina (BARRACO et. al., 1983; DAVIS; VERDE, 2009). Sendo assim, a cafeína promove atenuação da percepção da dor e maior neuro-excitabilidade aprimorando a ação das unidades motoras (LINDIGER; GRAHAM; SPRIET, 1993).

Outro mecanismo de ação da cafeína foi demonstrado no estudo de França et. al. (2015) em que a ingestão de cafeína pré-exercício pode promover alterações bioquímicas que melhorara a eficiência metabólica durante o exercício de endurance. Estes autores mostraram que a ingestão de 6 mg.kg^{-1} de cafeína elevou os níveis de glicerol plasmático em ~31% em ratos quando comparado ao grupo que se exercitou sem suplementação.

Ainda sobre alterações metabólicas, um importante efeito da cafeína durante o exercício aeróbio de alta intensidade consiste na elevação da taxa de oxidação de ácidos graxos que por sua vez promove a diminuição da utilização do glicogênio no músculo esquelético (DE POLI et. al., 2016). O efeito ergogênico advindo da ingestão de cafeína associado à economia das reservas corporais de carboidratos, também foi sugerido por Costill et. al. (1978), Cruz et. al. (2015) e França et. al. (2015). Isso apresenta relação com o desempenho muscular em determinados tipos de exercício, afinal, baixos níveis de glicogênio ou altos níveis de lactato muscular estão diretamente envolvidos com o mecanismo de fadiga muscular (SILVEIRA; ALVES; DENADAI, 2004). Estes autores demonstraram que houve um aumento significativo nas concentrações de ácidos graxos plasmáticos após 60 minutos da ingestão de cafeína quando comparado a um grupo controle indicando, assim, a ativação da lipólise com a ingestão de cafeína.

O ajuste do metabolismo energético é determinante da tolerância ao exercício, afinal, o organismo tem por objetivo gerar o equilíbrio entre a oferta e demanda de energia (estado estável) e o conseqüente retorno à homeostasia celular. Portanto, a rapidez para a realização de tal ajuste é crucial para que seja menor o distúrbio celular e maior o desempenho (JONES, et. al. 2011).

Nesse sentido, o estudo da cinética do consumo de oxigênio (VO_2) se propõe a descrever o comportamento do VO_2 e o tempo decorrido para que o sistema cardiorrespiratório e o metabolismo muscular ajustem a oferta de O_2 à demanda exigida pelo exercício. Este tipo de análise permite inferir sobre a interação de fatores relacionados ao transporte de oxigênio e a atividade enzimática intracelular, ademais, o comportamento das variáveis da cinética do VO_2 parece estar ligado ao processo de fadiga (JONES et. al., 2011).

Segundo Denadai e Caputo (2003), o ajuste do VO_2 é dependente principalmente das seguintes variáveis: intensidade, duração, tipo de exercício e nível de aptidão física. A cinética do VO_2 possui relação direta com os fenômenos bioenergéticos. Durante exercício, em intensidade constante, a demanda de ATP é atendida, principalmente, pelo metabolismo aeróbio em aproximadamente dois a três minutos (POOLE, 1994). Todavia, antes disso, o fornecimento de energia é complementado por fosforilação ao nível do substrato, ou seja, pela formação de ATP por transferência direta de um grupo fosfato para o ADP, vindo de outra molécula fosforilada, tal processo gera o chamado déficit de O_2 (POOLE, 1994; JONES et. al., 2011).

Para Santos et. al. (2010), ainda não há um consenso sobre os mecanismos desencadeadores da fadiga muscular. No entanto, sabe-se que durante a execução de exercícios físicos no domínio severo ocorre um grande déficit de oxigênio (O_2) que promove a depleção das reservas finitas de O_2 . Isto estimula a depleção de reservas de glicogênio com, conseqüente, formação de íons hidrogênio, que podem contribuir para a fadiga periférica e redução da tolerância ao exercício (CARITÁ; PESSOA; GRECO, 2013).

Em taxas de trabalho acima do limiar ventilatório (LV), o alcance de um estado de equilíbrio é atrasado ainda mais, o que exige contribuições anaeróbias adicionais e progressivas para a transferência de energia (POOLE, 1994). Segundo Denadai e Caputo (2003), a partir desse ponto observa-se um custo adicional do VO_2 conhecido como componente lento (VO_{2CL}) que representa o VO_2 que excede o valor predito para a carga imposta e, por isso, reflete uma redução da eficiência na ressíntese oxidativa de ATP durante o exercício (GAESSER; POOLE, 1996). O VO_{2CL} se refere ao consumo adicional que aumenta lentamente até atingir a estabilização em cargas

realizadas no domínio pesado de exercício (JONES et. al., 2011). Entretanto, em cargas realizadas acima da máxima fase estável de lactato (i.e., domínio severo) o VO_{2CL} não estabiliza e direciona o VO_2 aos valores máximos (DENADAI; CAPUTO, 2003).

Entre os eventos fisiológicos, considerados como responsáveis pela gênese do VO_{2CL} , estão o acúmulo de metabólitos e de catecolaminas, a intensificação da atividade dos músculos ventilatórios e cardíaco, a elevação da temperatura corporal, a ativação de músculos acessórios e o maior acionamento de fibras do tipo II (XU; RHODES, 1999). No entanto, evidências mais recentes demonstram que a elevação da temperatura das catecolaminas e acidez parecem não ser importantes para a origem do VO_{2CL} (JONES, et al. 2011). Contudo, é importante ressaltar que as contrações dos músculos responsáveis pelo exercício são responsáveis por mais de 80% do VO_{2CL} gerado (JONES, et al. 2011) e que existem evidências da relação entre a fadiga intrínseca na célula muscular recrutada para o exercício e o VO_{2CL} (CANNON et. al., 2011) devido ao fato que a fadiga muscular é um forte requisito e provavelmente a base para o conseqüente surgimento do VO_{2CL} (CANNON et. al. 2011; JONES, et al. 2011).

Acerca disso, Cannon et. al. (2011) demonstraram que a redução no pico de torque isocinético está correlacionada significativamente com o VO_{2CL} , entretanto, a manutenção dos valores de torque entre o início do VO_{2CL} e o término do exercício (i.e., 3 e 8 min) sugerem que o recrutamento muscular progressivo não é obrigatório, mas a redução na eficiência mecânica nas fibras fadigadas está implicada. O mecanismo proposto para essa correlação é a ativação de uma “cascata” de eventos envolvendo a depleção de substratos e o acúmulo de metabólitos relacionados à fadiga que diretamente influenciam a produção de força muscular e a eficiência em exercícios de alta intensidade (MURGATROYD et al., 2011). Diante disto, torna-se lógico pensar que ferramentas que possibilitem a atenuação da fadiga muscular poderiam reduzir a amplitude do VO_{2CL} .

Assim, diferentes intervenções tem demonstrado potencial para redução da magnitude do VO_{2CL} que está associada a uma maior tolerância ao exercício (BAILEY et. al., 2009). Entre estas intervenções, estão o treinamento de endurance (SANTALLA et. al., 2001; JONES et. al., 2011), treinamento muscular inspiratório

(BAILEY et. al., 2010), exercício prévio (BURNLEY; JONES; CARTER; DOUST, 2000; BURNLEY; DOUST; JONES, 2005), a suplementação dietética de nitrato e a inspiração de gás hiperóxico (JONES et. al., 2011). Estes estudos objetivaram atenuar o desenvolvimento da fadiga muscular e conseqüentemente o VO_{2CL} por meio de um aprimoramento da atividade do sistema oxidativo muscular e estabilidade metabólica que estão relacionadas ao aprimoramento do fornecimento de oxigênio no músculo e/ou da atividade enzimática intracelular (JONES et. al., 2011). Diante das evidências de que a ingestão de cafeína protela a fadiga (GOLDSTEIN et. al., 2010) e da relação da fadiga muscular com o VO_{2CL} (CANNON et. al., 2011), aventa-se a possibilidade de que a cafeína possa então exercer influência no VO_{2CL} .

Os efeitos da ingestão de cafeína sobre o VO_{2CL} podem melhorar o desempenho desportivo em atletas e tolerância ao exercício em indivíduos sedentários, fisicamente ativos e atletas (SANTALLA et. al., 2001; DE POLI et. al., 2016). Sob este enfoque, Simmonds; Minahan e Sabapathy (2010) pesquisaram o efeito da ingestão de 5 mg.kg^{-1} de cafeína sobre a cinética do VO_2 em ciclistas altamente treinados durante a execução de exercício supramáximo (i.e., 120% do $VO_{2\text{máx}}$). Estes pesquisadores constataram que o tempo de exaustão aumentou significativamente (~15%) sem alterações na cinética de VO_2 , porém, houve diminuição da $[K^+]$ no plasma (metabólito associado à fadiga) atrasando o atingimento da fadiga muscular. Por sua vez, Bell et. al. (1999) estudaram o efeito da cafeína na cinética do VO_2 durante exercícios de intensidade moderada e pesada (abaixo e acima do LV, respectivamente) e tiveram sua hipótese contrariada ao perceberem que os parâmetros da cinética do VO_2 não haviam sido alterados a partir de seus protocolos de exercício. Por outro lado, Santalla et. al. (2001) constataram, em seu experimento, que a ingestão de 5 mg.kg^{-1} de cafeína 60 minutos antes do exercício de corrida a 90% do $VO_{2\text{max}}$ provocou valores médios de VO_{2CL} significativamente menores do que na situação na qual os voluntários ingeriram cápsula com placebo ($83 \pm 31 \text{ ml.min}^{-1}$ vs. $167 \pm 26 \text{ ml.min}^{-1}$, respectivamente). Estes resultados sugerem que o efeito ergogênico da cafeína em um exercício aeróbio de alta intensidade pode ser, em parte, mediada por uma possível atenuação do VO_{2CL} .

No entanto, ainda é controverso os efeitos da ingestão de cafeína nos parâmetros da cinética do consumo de oxigênio (com destaque no VO_{2CL}) e na relação que tais fatores possuem com a fadiga muscular. Ademais, muita atenção tem sido dada ao estudo dos efeitos da cafeína no desempenho aeróbio e anaeróbio. No entanto, pouco se estudou a respeito da influência dessa substância em protocolos de exercício de predominância aeróbica e subsequente medida de desempenho a partir de um exercício com intensidade máxima e curta duração, exigência esta presente em diversas modalidades esportivas, principalmente, em seus instantes finais. Tal fato evidencia uma lacuna a ser explorada e devidamente investigada.

Diante do exposto, têm-se o seguinte problema de pesquisa: qual o efeito da ingestão de cafeína na fadiga muscular e no comportamento da cinética do consumo de oxigênio, com especial atenção ao VO_{2CL} ?

1.1 JUSTIFICATIVA

Embora a maioria dos estudos não seja conclusiva em relação aos mecanismos responsáveis pelos efeitos da cafeína no metabolismo anaeróbio e aeróbio, a cafeína tem sido utilizada como substância ergogênica, previamente à realização de exercícios de alta intensidade, com o intuito de adiar o surgimento da fadiga e, conseqüentemente, melhorar o desempenho (ALTIMARI et. al., 2000; BUCCI, 2000; GRAHAM, 2001).

Muitos trabalhos têm investigado o comportamento da cinética de VO_2 em esportes individuais e nas modalidades cíclicas, porém, em contraposição, existem poucos estudos que tenham investigado a cinética do VO_2 associada à fadiga muscular, diante do uso de cafeína, durante um protocolo de exercício de alta intensidade. Segundo Goldstein et. al., (2010), a literatura é ambígua quando considera os efeitos da cafeína sobre a fadiga muscular e que isso justifica o desenvolvimento de pesquisa adicional. Nesse sentido, o estudo de tais mecanismos e ajustes cardiorrespiratórios durante exercício aeróbico de alta intensidade, poderá trazer subsídios capazes de auxiliar no aprimoramento da utilização de cafeína como recurso em treinamentos e competições. Portanto, investigar as trocas

gasosas durante um protocolo de exercício intenso associado à ingestão de cafeína e à análise de um fidedigno marcador de força (mensuração do pico de torque) (MENDEZ-VILLANUEVA, BISHOP, HAMER, 2007) pode se configurar como valiosa ferramenta em busca do entendimento dos mecanismos de ação da cafeína que se relacionam à fadiga muscular. A utilização do pico de torque (PT) mostra-se importante, pois os efeitos da cafeína sobre o desempenho físico são comumente investigados a partir da determinação do tempo de exaustão (T_{lim}) e, segundo Guglielmo (2005), durante exercícios de alta intensidade, o T_{lim} apresenta uma grande variabilidade individual, podendo interferir na precisão e em sua utilização.

A relevância do presente estudo reside em proporcionar o melhor entendimento de como a cafeína interfere na cinética do VO_2 , no VO_{2CL} e na fadiga muscular, pois estudos que se propõem a analisar tais relações podem auxiliar a esclarecer melhor o efeito deste recurso potencialmente ergogênico na performance de exercícios aeróbios de alta intensidade.

1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Esta pesquisa se deterá a investigar, em homens fisicamente ativos, a cinética do VO_2 , a fadiga muscular diante do efeito da ingestão de cafeína durante um protocolo de exercício de carga constante em alta intensidade.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o efeito agudo da ingestão de cafeína no comportamento da cinética do consumo de oxigênio e na fadiga muscular durante exercício físico de alta intensidade.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar os parâmetros derivados da cinética de VO_2 , tais como constantes de tempo e amplitudes durante exercício de ciclismo de alta intensidade.
- Investigar a influência da ingestão de cafeína na fadiga neuromuscular a partir do pico de torque durante *sprint* no cicloergômetro.
- Verificar se os possíveis efeitos da ingestão de cafeína na fadiga muscular demonstram relação com a amplitude do componente lento do VO_2 .
- Verificar os potenciais efeitos da cafeína na frequência cardíaca, concentração de lactato sanguíneo e percepção subjetiva de esforço durante exercício de ciclismo de alta intensidade.

2.3 HIPÓTESES

- H1: A ingestão de cafeína diminuirá a amplitude do componente lento de VO_2 .
- H2: A fadiga neuromuscular e o componente lento do VO_2 serão atenuados com a ingestão de cafeína.
- H3: A cafeína será capaz de elevar a concentração de lactato sanguíneo.
- H4: A cafeína irá diminuir a percepção subjetiva de esforço.

3 DEFINIÇÃO DE VARIÁVEIS

Consumo máximo de oxigênio (VO_{2max})

Conceitual: captação máxima de oxigênio alcançada por um indivíduo (MCARDLE, KATCH, KATCH, 2016).

Operacional: o VO_{2max} será o valor obtido no teste incremental em ciclo ergômetro realizado no laboratório expresso em $L \cdot min^{-1}$ ou $ml \cdot kg \cdot min^{-1}$ com base nos critérios propostos por Leirdal; Ettema (2011).

Componente Lento do consumo de Oxigênio (VO_{2CL})

Conceitual: custo adicional de consumo de oxigênio que excede o valor predito para a carga imposta (GAESSER; POOLE, 1996).

Operacional: consumo adicional de oxigênio estimado pela equação: $VO_{2CL} = VO_{2end} - (VO_{2base} + A_p)$

Limiar ventilatório (LV_1)

Conceitual: momento no qual ocorrerá um aumento não linear na produção de dióxido de carbono (VCO_2) e um aumento no volume expirado de O_2 (VE/VO_2) sem um aumento evidente no volume expirado do CO_2 (VE/VCO_2) (MCARDLE, KATCH, KATCH, 2016).

Operacional: será determinado por meio da inspeção visual, por avaliadores experientes para encontrar a intensidade referente, a partir dos resultados obtidos no teste incremental realizado no laboratório.

Pico de Torque

Conceitual: o pico de torque é calculado a partir do produto da força máxima (aplicada no dinamômetro) pela distância (comprimento do segmento) e tem como resultado um valor na unidade de Newton metros (Nm) (KANUS, 1994).

Operacional: o pico de torque será atribuído ao maior valor de torque alcançado pelo avaliado durante o *sprint* no cicloergômetro.

Fadiga Muscular

Conceitual: qualquer redução induzida pelo exercício na capacidade de gerar força ou potência (VOLLESTAD, 1997).

Operacional: diminuição da força enunciada a partir do pico de torque obtido no *sprint* isocinético realizado no cicloergômetro.

Fadiga Global ou Neuromuscular

Conceitual: A fadiga global ou neuromuscular é decorrente da combinação de mecanismos centrais e periféricos (BURNLEY et al., 2012) e é definida como um declínio da capacidade máxima do sistema neuromuscular de produzir força ou torque (ENOKA; DUCHATEAU, 2008).

Operacional: diminuição da força enunciada a partir do pico de torque obtido no *sprint* isocinético realizado no cicloergômetro.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 CINÉTICA DO CONSUMO DE OXIGÊNIO

O estudo dos mecanismos fisiológicos responsáveis pela dinâmica da resposta do consumo de oxigênio (VO_2) durante o exercício e a recuperação é conhecido como a cinética do VO_2 (JONES; POOLE, 2005).

Os primeiros achados no âmbito da dinâmica do VO_2 são de responsabilidade dos pesquisadores Krogh e Lindhard (1913) que analisaram o consumo de O_2 em um intervalo de tempo específico após o início de exercício de intensidade moderada. Os autores descobriram que o VO_2 alcançava um estado estável em seus valores com 1 a 2 minutos de exercício leve, com 3 minutos para o exercício moderado, mas não encontrava o estado de equilíbrio com um exercício muito pesado.

Posteriormente, Archibald Vivian Hill, ganhou em 1923 o Prêmio Nobel em Medicina/Fisiologia graças aos estudos sobre metabolismo energético com a utilização do músculo de rã, porém, foi também pioneiro em estudos da fisiologia da corrida em seres humanos. Suas experiências minuciosas sobre o consumo de oxigênio durante o exercício e a recuperação aprimoraram a compreensão da dinâmica do metabolismo energético durante o exercício e da eficiência mecânica (MCARDLE, KATCH, KATCH, 2016).

Diante da relação estreita entre consumo de oxigênio e a intensidade de exercício, Gaesser e Poole (1996) propuseram três domínios de intensidade de exercício, de modo que dentro de um mesmo domínio estejam envolvidas as intensidades que proporcionam respostas respiratórias e metabólicas semelhantes (DENADAI; CAPUTO, 2003). Assim sendo, o domínio moderado compreende todas as intensidades de esforço que podem ser realizadas sem alteração do lactato sanguíneo em relação aos valores de repouso ou abaixo do LV_1 e/ou primeiro limiar de transição fisiológica (LTF_1). O domínio pesado tem como limite inferior a menor intensidade de esforço que pode ser realizada no LTF_1 e tem como limite superior a intensidade correspondente à máxima fase estável de lactato (MLSS) e/ou OBLA, que representam o segundo limiar de transição fisiológica (LTF_2). O domínio severo inicia após a intensidade referente ao LTF_2 , com as concentrações de lactato ($[\text{La}]$), elevando-se durante todo o

tempo de exercício e o VO_2 sendo projetado em direção aos valores máximos até o indivíduo atingir exaustão. Porém Hill, Poole e Smith (2002) propuseram que o limite superior do domínio severo é a intensidade de exercício acima da qual a duração do esforço é tão curta que o VO_{2max} não é atingido. Em indivíduos ativos, esta intensidade correspondeu a 136% da potência máxima atingida durante um teste incremental na bicicleta ergométrica.

Nos diferentes domínios de intensidade de exercício, a cinética do VO_2 comporta-se de maneira diferente e apresenta três fases dependentes do domínio analisado. A fase cardiodinâmica (fase 1) representa os primeiros 15 a 25 segundos do exercício e parece estar relacionada ao aumento do débito cardíaco e do fluxo sanguíneo nos pulmões (JONES et. al., 2011). A fase fundamental (fase 2) parece refletir as mudanças no metabolismo oxidativo muscular com um contínuo aumento do retorno venoso e maior extração periférica de O_2 . A fase estável (fase 3) representa o estado de equilíbrio do VO_2 para intensidades em que ele é atingido (XU; RHODES, 1999; DENADAI; CAPUTO, 2003).

O tempo de duração da fase 2 é dependente do domínio em que o exercício é realizado podendo apresentar um componente (primário) ou dois componentes (primário + lento). No domínio moderado (abaixo do LTF_1) e em indivíduos normais, o VO_2 aumenta exponencialmente (componente primário) e um estado estável ocorre em 80 – 110s. Para o exercício com intensidades acima do LTF_1 , a análise da cinética torna-se mais complexa e o VO_2 eleva-se bi-exponencialmente com o surgimento do segundo componente (componente lento - VO_{2CL}) que se desenvolve lentamente e atrasa a obtenção do estado estável que, quando encontrado apresenta um valor maior do que aquele que é predito na relação VO_2 versus carga abaixo do LTF_1 . Para o domínio pesado ou severo (abaixo do VO_{2max}), o VO_{2CL} atrasa o alcance desse estado de equilíbrio em torno de 15 a 20 min de exercício. No domínio severo (acima do LTF_2), o VO_2 eleva-se mono ou bi-exponencialmente dependendo da intensidade de exercício acima ou abaixo do VO_{2max} , respectivamente, até que este seja encontrado (GAESSER; POOLE, 1996; XU; RHODES, 1999; CAPUTO; DENADAI, 2008).

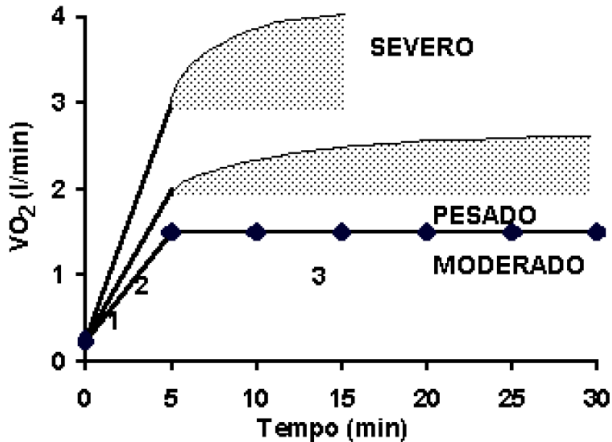
Segundo Jones e Poole (2005), o consumo de oxigênio e o ritmo, no qual este é aumentado na transição de uma atividade

que necessita de elevada energia para atingir o estado estável, influenciam a tolerância ao exercício. Uma cinética do VO_2 mais rápida pode reduzir o déficit de oxigênio, diminuindo o fornecimento de energia a partir do nível de fosforilação de substratos e do acúmulo de metabólitos relacionados com a fadiga, tais como H^+ e Pi (BAILEY et al., 2009), isto corrobora para as evidências de que o VO_{2CL} está intimamente relacionado a eventos intramusculares e ao desenvolvimento da fadiga (JONES et al., 2011), que é condicionada por fatores limitantes de natureza central (pulmão, coração e transporte sanguíneo) e de natureza periférica, por exemplo, demora para ativação do metabolismo à nova demanda energética (inércia metabólica-fator muscular) (GRASSI, 2001).

4.2 FATORES QUE INFLUENCIAM O VO_{2CL}

Os fatores determinantes do VO_{2CL} ainda estão para serem melhor elucidados, principalmente, pelo fato de que não se sabe como ou em que medida a maior parte dos fatores que exercem influência no componente lento atuam em sua gênese (DENADAI, 2003; JONES et. al., 2011). No entanto, sabe-se que o componente lento representa o VO_2 adicional, ou seja, além daquele predito a partir da relação VO_2 versus carga, (DENADAI, 2000) conforme está demonstrado na figura 1.

Figura 1 - Cinética do consumo de oxigênio nos domínios moderado, pesado e severo (abaixo do VO_{2max}). A área sombreada corresponde ao componente lento do consumo de oxigênio. Os números 1, 2 e 3 indicam as três fases da cinética do VO_2 .



Fonte: DENADAI; CAPUTO, 2003.

O VO_{2CL} é explicado, principalmente, por mecanismos intramusculares relacionados ao aumento da demanda energética de fibras que já estão fadigadas, como também pelo recrutamento de fibras musculares menos eficientes (Tipo IIb/IIx). O custo energético da participação de outros músculos, ventilação pulmonar e trabalho cardíaco também exercem influência no VO_{2CL} (JONES et. al., 2011). Sobre os referidos mecanismos intramusculares Korzeniewski, Zoladz (2015), a partir de um modelo teórico, concluíram que a inibição progressiva da glicólise anaeróbia e o aumento gradual da utilização de ATP durante o exercício contribuem para a geração do VO_{2CL} no músculo esquelético.

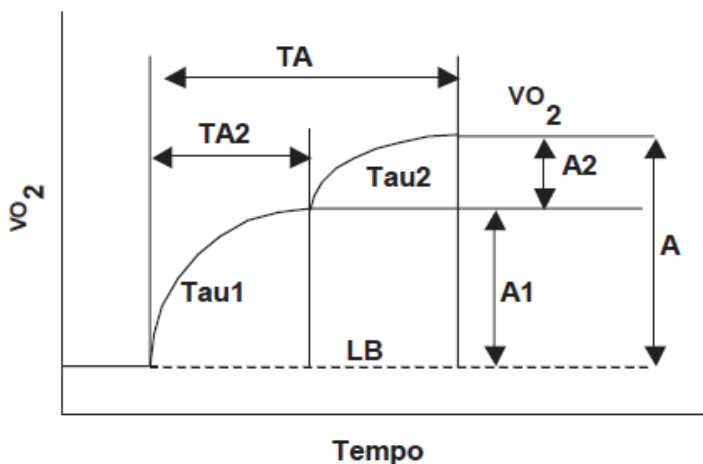
O fato de o VO_{2CL} impactar negativamente no desempenho físico despertou o interesse de cientistas do exercício pela busca de técnicas capazes de minimizar seus efeitos, entre tais técnicas estão o exercício prévio (realizado nos domínios pesado ou severo) e o treinamento aeróbio (BURNLEY et. al., 2000), assim como, eventos fisiológicos capazes de promover o aumento do fluxo sanguíneo muscular, utilização do O_2 e incremento da atividade de enzimas oxidativas (GRASSI et. al., 2003). Esta atenuação denota maior eficiência do organismo,

pois o mesmo passa a ser capaz de realizar trabalho com um menor custo de oxigênio.

Para Jones et. al. (2011), o aumento da densidade mitocondrial e a redução do déficit de O_2 são fatores positivos para a aceleração da resposta primária do VO_2 e consequente diminuição do VO_{2CL} . A redução da amplitude do VO_{2CL} e do τ representam benefícios que potencialmente indicam melhora da tolerância ao exercício (por meio da redução do déficit de O_2) (FUKUOKA et. al., 2002), o que pode ser expresso a partir da redução da fadiga.

A análise da cinética do VO_2 se dá principalmente a partir das variáveis expressas na figura 2. Nesta pesquisa há bastante interesse sobre os aspectos fisiológicos determinantes dos parâmetros da cinética do VO_2 , principalmente o Tau (τ) do componente primário e as amplitudes dos componentes primário (A1) e lento (A2) (figura 2).

Figura 2 - Parâmetros utilizados para descrever a cinética do VO_2 , em um modelo biexponencial. LB, linha de base; A, amplitude do aumento no VO_2 ; A1, do componente primário (rápido); A2, do componente secundário (lento); Tau, constante tempo (definida como o tempo requerido para atingir 63% de A); Tau1, componente primário; Tau2, componente lento; TA, tempo de atingimento do VO_2 ; TA2, tempo para o início do componente lento.



Fonte: DENADAI; CAPUTO, 2003.

4.3 FADIGA MUSCULAR

Muitos pesquisadores tem se dedicado ao estudo e sistematização de conhecimentos sobre a fadiga o que resulta em diversas definições para este fenômeno, tais como: “incapacidade de manutenção da força ou potência produzida” (HAWLEY; REILLY, 1997); “A diminuição da disponibilidade de substratos energéticos para o músculo esquelético durante o exercício” (SAHLIN, TONKONOJI; SODERLUND, 1998); “Diminuição da força na contração máxima sustentada” (BARRY; ENOKA, 2007); “um déficit motor, declínio da função mental na percepção, podendo ser descrito como diminuição gradual da capacidade do músculo de manter uma força até o final de uma atividade” (ENOKA; DUCHATEAU, 2008); “É a manifestação consciente de um processo subconsciente do sistema nervoso central” (BARON et. al., 2008).

A fadiga pode ser classificada como crônica ou aguda e tem sido sugerida como um mecanismo de defesa contra possíveis efeitos deletérios em determinadas funções orgânicas e celulares, protegendo, assim, a integridade da fibra muscular esquelética e do sistema orgânico como um todo (ENOKA; DUCHATEAU, 2008). A fadiga aguda, alvo do presente estudo, vem sendo classificada a partir de dois tipos quanto a sua origem; central e periférica, a primeira refere-se às alterações no funcionamento do sistema nervoso central, ocasionadas pelo exercício intenso ou prolongado, com conseqüente diminuição no rendimento, já a periférica relaciona-se a eventos fisiológicos ligados principalmente aos músculos em atividade (DAVIS; BAILEY, 1997). Diante da participação de alterações advindas das esferas central e periférica no fenômeno fisiológico em questão, Burnley et al., (2012) usou o termo fadiga global ou neuromuscular para se referir à fadiga decorrente da combinação de mecanismos centrais e periféricos.

O estudo da fadiga revelou que esta não se constitui como um fenômeno fisiológico mensurável. O que se pode aferir são algumas variáveis influenciadas pela fadiga (ENOKA; DUCHATEAU, 2008). No que concerne a tais variáveis, sabe-se que há reduções nas concentrações intracelulares de cálcio ($[Ca^{+2}]$), as quais parecem comprometer a tensão gerada pelas fibras musculares nas contrações durante o exercício intenso de curta duração e exercícios prolongados. As alterações nas

concentrações de hidrogênio ($[H^+]$), lactato ($[La]$), fosfato inorgânico (Pi) e adenosina trifosfato (ATP), também influenciam na produção de força pelas fibras musculares, contudo todos esses fatores não parecem constituir-se, por si só, como determinantes da fadiga (SAHLIN, TONKONOJI; SODERLUND, 1998).

O cálcio (Ca^{+2}) também desenvolve importante papel no sistema nervoso central (SNC), afinal os astrócitos (maiores e mais numerosas células da glia do SNC) possuem uma grande sensibilidade à liberação neuronal de glutamato, a qual desencadeia sinais de Ca^{+2} nestas células, permitindo que haja um sistema de comunicação bidirecional entre neurônios e astrócitos, o que garante a perfeita coordenação das funções cerebrais (CARMIGNOTO, 2000). Desta forma, o glutamato advindo dos terminais sinápticos pode modular, direta ou indiretamente, a maioria dos canais de cálcio e sua ação ocorre via receptores glutamatérgicos, ionotrópicos e metabotrópicos.

Sobre a relação entre o cálcio e a fadiga, é importante ressaltar que a cafeína modula a $[Ca^{+2}]$ a partir de sua ligação com os receptores de rianodina. Tal fato indica um possível envolvimento de reservas intracelulares de Ca^{+2} reguladas pelos receptores de rianodina, uma vez que somente em concentrações elevadas a cafeína atua estimulando-os e deste modo liberando Ca^{+2} das reservas supracitadas. Porém, em menores concentrações, a cafeína atua em outros sítios, inibindo fosfodiesterases e antagonizando receptores de adenosina (FREDHOLM, 1995).

Há evidências acerca do papel dos mecanismos superiores do SNC na fadiga, particularmente na diminuição da atividade cortical, na condução corticoespinal do impulso nervoso, bem como na ativação de áreas cerebrais conducentes a maior produção de neurotransmissores, como a dopamina (SANTOS et. al, 2010). Diante do fato que a cafeína age de modo contrário, pode-se entender como tal substância é possivelmente capaz de minimizar a fadiga.

Provavelmente existe um *feedback* sensorial que inibe a taxa de descarga dos motoneurônios durante a fadiga, justificando a importância dos mecanismos centrais na manutenção de um determinado nível de força (AMANN; DEMPSEY 2009).

Um dos prováveis mecanismos associados à fadiga central está relacionado às alterações na síntese e na atividade de neurotransmissores. Em especial, tem sido observado um aumento significativo nas concentrações de triptofano livre no sangue que é o precursor da serotonina (5-HT) durante a execução de exercícios de duração prolongada, tal dado chama atenção, pois um aumento nas concentrações de 5-HT pode causar indisposição, sonolência e falta de atenção (DAVIS; BAILEY, 1997).

4.4 PERCEPÇÃO SUBJETIVA DE ESFORÇO (PSE)

Segundo Borg (2000), a intensidade do exercício físico pode ser interpretada tanto por mensurações físicas a exemplo da força, trabalho, energia, torque e velocidade, quanto em termos fisiológicos a partir das variáveis FC, VO_2 , ventilação, [La] sanguíneo ou por índices subjetivos de intensidade conforme a percepção do indivíduo (PSE).

A resposta perceptiva envolve aspectos psicológicos, como motivação, memória, e componentes de tomada de decisão associados (ST CLAIR GIBSON et. al., 2003).

PSE é a sensação consciente do quanto difícil, pesado e cansativo é uma tarefa física (BORG, 2000). A mensuração da PSE vem sendo amplamente utilizada como ferramenta para monitorar, regular e prescrever a intensidade do exercício físico (BORG, 2000; ESTON, 2012).

Eklom e Goldbarg (1971) foram pioneiros ao sugerirem que a PSE geral seria baseada na combinação de percepções locais (músculos e articulações) e percepções do sistema cardiorrespiratório. Portanto, a PSE se relaciona intrinsecamente com a intensidade do exercício físico, de tal modo que também está relacionada com o desempenho e a tolerância ao exercício, de maneira que a taxa de aumento desta variável pode prever o tempo até a exaustão em exercícios de carga constante (ESTON, 2012).

Uma das escalas mais utilizadas para avaliar a PSE é a escala de avaliação da percepção de esforço de Borg (2000) (anexo B). Tal escala é de fácil compreensão, e é composta por números (6 a 20) que se encontram correlacionados a expressões verbais (“sem nenhum esforço” a “máximo esforço”) que possibilitam um indivíduo estimar seu esforço.

Diferentes fatores podem influenciar as respostas perceptivas durante um exercício físico. Estes fatores podem estar relacionados com aspectos do ambiente, da nutrição, uso de substâncias, aspectos fisiológicos ou psicológicos. Entre estes, a presente pesquisa destaca o uso de substâncias, afinal, a cafeína é uma substância psicoativa e os aspectos fisiológicos concitados pelo exercício de alta intensidade.

4.5 PICO DE TORQUE (PT)

O desempenho em exercícios de resistência sob efeito de cafeína costuma ser mensurado usando um teste de tempo para exaustão (T-limite). O tempo à exaustão como uma medida de desempenho não é ideal devido ao alto grau de variabilidade da medida entre e dentro dos sujeitos, além disso, não se tem conhecimento de qualquer esporte de resistência em que os indivíduos ganham indo mais longe ou por um período de tempo maior do que seus adversários (GANIO, et. al. 2009).

Mensurar o desempenho com uma medida de força tem alta reprodutibilidade (MENDEZ-VILLANUEVA; BISHOP; HAMER, 2007) e é mais aplicável ao esporte, afinal, a medida de força denota o grau de fadiga e esta, quando se encontra reduzida nos momentos finais de um desafio físico, pode fazer a diferença entre a vitória e a derrota.

A mensuração do pico de torque revelou-se uma importante ferramenta para os estudos que consideram os esforços únicos e que querem investigar a queda do desempenho gerada ao longo do esforço.

A dinamometria é importante para quantificar as forças aplicadas no pedal. O cicloergômetro *Excalibur Sport* e *SRM Training System* são capazes de medir o torque e a potência mecânica no pedivela durante a pedalada (CARPES et. al., 2006).

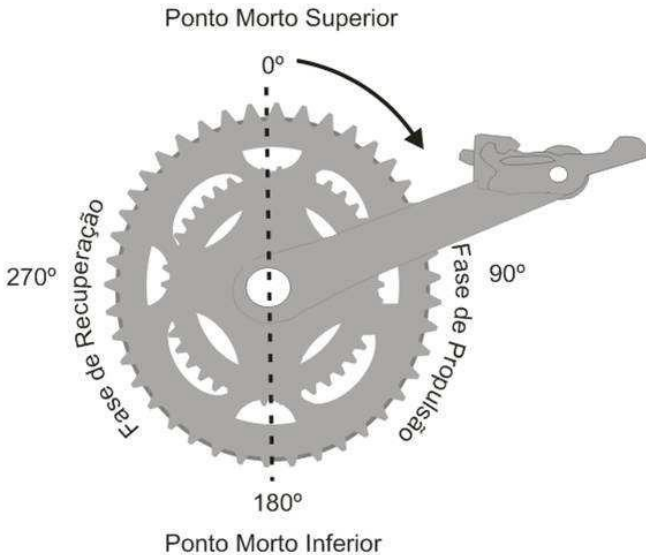
Os sensores do cicloergômetro, acoplados ao software *LEM - Lode Ergometry Manager* (Lode Medical Technology, Groningen, Holanda) permitirão a obtenção do torque e potência provenientes de cada ciclo de pedalada, com medidas individualizadas para cada perna do voluntário. A partir destas informações, foram definidas a potência pico ou pico de torque.

Para o melhor entendimento desta relação, é importante ressaltar que a cinética e a cinemática durante o ciclismo são

descritos em relação ao ângulo do pedivela. A fase de propulsão se inicia no ponto morto superior (0°) e vai até o ponto morto inferior (180°) e a fase de recuperação representa o restante do ciclo da pedalada ($180 - 360^\circ$) (Figura 3) (GREGOR, 2000).

A partir da divisão do ciclo de pedalada é possível constatar que na fase de propulsão ocorre o pico da força efetiva produtora (força positiva que é aplicada perpendicularmente ao pedivela) (MORO, 2012).

Figura 3 - Fases de propulsão e recuperação de um ciclo completo da pedalada no ciclismo.



Fonte: BAUM; LI, 2003 *apud* MORO, 2012.

4.6 CAFEÍNA: CARACTERÍSTICAS, EFEITOS ERGOGÊNICOS E SEUS MECANISMOS DE AÇÃO

A cafeína é a substância ativa na esfera comportamental mais consumida em todo o mundo. É uma substância legal e socialmente aceita e os seus riscos para a saúde são mínimos, sendo por isso utilizada há vários séculos em diversos tipos de alimentos e bebidas (BURKE, 2008; GRAHAM, 2001). Apesar dos efeitos conhecidos de redução da fadiga, aumento da concentração e melhoria do estado de vigília, a cafeína é aceita

em alguns desportos e a sua utilização é permitida até doses elevadas (BURKE, 2008; GOLDSTEIN et. al., 2010).

Pertencente a um grupo de compostos denominados purinas, a cafeína possui o nome químico, 1,3,7-trimetilxantina, e é encontrada naturalmente nos grãos de café, folhas de chá, de cola, chocolate, grãos de cacau e nozes, que são acrescentados com frequência às bebidas efervescentes e aos remédios vendidos sem prescrição médica (GOLDSTEIN et. al., 2010).

Granham et. al. (1998) investigaram os efeitos da ingestão da mesma quantidade de cafeína administrada em cápsulas ou a partir do café no desempenho em exercícios e concluíram que os efeitos da cafeína foram percebidos apenas nos voluntários que a ingeriram na forma de cápsulas. Portanto, a biodisponibilidade da cafeína no organismo humano depende da forma com a qual é consumida.

Muitos recursos estimulantes estão associados a efeitos colaterais significativos, no entanto, a cafeína representa uma possível exceção para a regra geral contra a ingestão de estimulantes com a finalidade de obter efeitos ergogênicos (MCARDLE; KATCH; KATCH, 2016).

O efeito da cafeína no sistema nervoso pode alterar também, segundo Goldstein et. al. (2010), a utilização dos substratos energéticos durante o exercício, os quais resultariam na diminuição do consumo de glicogênio e aumento da mobilização de ácidos graxos livres. Segundo Mcardle, Katch e Katch (2016) diante de uma estimulação simpática e consequente liberação de adrenalina, esta, por sua vez, interage com receptores de adenosina nos adipócitos impedindo a restrição da lipólise e acionando lipases que fracionam moléculas de gordura e liberam ácidos graxos livres. Diante desta oferta de substrato energético pode haver, então, redução da oxidação de carboidratos (COSTIL, et. al, 1978). Sendo assim, aventa-se uma maior resistência a fadiga, pois em muitos casos esta se instala em decorrência da depleção das reservas de glicogênio.

Em contraposição, Warren et. al. (2010) realizaram uma revisão sistemática e meta-análise fazendo uso de pesquisas desenvolvidas entre 1939 e 2008 que avaliaram o efeito da ingestão de cafeína na força e resistência muscular e relataram que o mecanismo de ação da cafeína que apregoa um maior estímulo à oxidação de gordura e a consequente poupança de glicogênio muscular têm sido cada vez menos usado nos últimos

20 anos. Embora a cafeína certamente mobilize os ácidos graxos do tecido adiposo, raramente as medidas da relação de troca respiratória indicaram um aumento na oxidação de gordura. No entanto, esta é uma medida difícil de executar com precisão durante o exercício (GRANHAM, 2001, GRANHAM, et. al., 2008). Além disso, esta hipótese não pode explicar o melhor desempenho em exercício de alta intensidade, em que os níveis de glicogênio não são um fator limitante (GRANHAM, et. al., 2008)

Granham, et. al. (2008), com o objetivo de ampliar a amostra de pesquisas que avaliaram o metabolismo muscular humano, combinaram os dados de análise de biópsia muscular presentes em vários estudos semelhantes e, assim, formaram uma amostra de 16 a 44 pessoas, a depender da variável. Deste modo, foram examinados glicogênio muscular, citrato, acetil-CoA, glicose-6-fosfato e adenosina monofosfato cíclico (AMPc) de amostras obtidas no estado de repouso e naquelas coletadas após 10 a 15 minutos de exercício com intensidade de 70% a 85% do VO_2 max. O exercício diminuiu ($p < 0,05$) o glicogênio e aumentou ($p < 0,05$) o citrato, acetil-CoA e glicose-6-fosfato. Os únicos efeitos da cafeína foram aumentar ($p < 0,05$) o citrato no músculo em repouso e AMPc no exercício. Há pouca evidência para apoiar a hipótese de que a cafeína gera efeitos ergogênicos como resultado do aprimoramento da oxidação de gordura.

Está estabelecido que a cafeína é um antagonista competidor dos receptores de adenosina, atuando em receptores na circulação periférica espalhada pelo corpo e no córtex cerebral. Ao impedir a interação da adenosina com seu receptor, a cafeína aumenta os níveis de AMPc e desencadeia um quadro de estimulação simpática com incrementos na função cardiovascular (NEHLIG; DAVAL; DEBRY, 1992).

O principal efeito ergogênico da cafeína na resistência ao exercício provavelmente está num melhor funcionamento de unidades motoras e o conseqüente aumento da força, ao invés da sensação da dor e percepção de esforço (BLACK; WADDEL; GONGLACH, 2015).

Têm-se postulado que a cafeína maximize a performance por agir, independentemente, ou concomitantemente, a partir de 3 mecanismos: 1) aumento da mobilização do cálcio intracelular, 2) aumento na oxidação de ácidos graxos livres e 3) antagonista

do receptor de adenosina no sistema nervoso central (DAVIS; VERDE, 2009).

No que concerne à influência da cafeína nas funções neuromusculares. Del Coso; Estevez e Rodriguez (2008) demonstraram que a ingestão de cápsulas de cafeína (6 mg.kg^{-1} da massa corporal), em ciclistas treinados, proporcionou a manutenção da máxima ativação voluntária dos músculos das coxas, submetidos a exercício em um cicloergômetro, por 120 minutos, na intensidade correspondente a $63\% \text{ VO}_{2\text{max}}$.

Mohr; Nielsen e Bangsbo (2011) concluíram que o consumo de cafeína antes da realização de exercícios intermitentes aeróbios produz alterações positivas nos índices de desempenho aeróbios. Diante do exposto, criou-se a expectativa de que estes efeitos ergogênicos da cafeína aprimorassem o rendimento dos voluntários desta pesquisa.

5 MATERIAIS E MÉTODO

5.1 MODELO DO ESTUDO

O presente estudo pode ser classificado quanto a sua natureza como sendo uma pesquisa aplicada, pois segundo Silva et. al. (2011) essa classificação pode ser empregada para estudos que tem como objetivos gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos para solucionar problemas específicos. No que concerne à abordagem do problema, trata-se de um estudo quantitativo afinal os dados serão quantificados para serem classificados e analisados.

Quanto aos objetivos propostos, se configura como quase experimental, representando desenho de pesquisa que permite estabelecer uma situação de causa e efeito, ao estabelecer relações entre as variáveis com o controle do maior número possível de fatores, exceto a variável experimental. Sendo assim, o pesquisador pode presumir que as alterações na variável dependente são decorrentes da variável independente (THOMAS, NELSON, SILVERMAN, 2012).

5.2 SUJEITOS DO ESTUDO

A amostra foi composta por 12 homens adultos jovens. A seleção dos participantes ocorreu de modo intencional não probabilística.

Os critérios de inclusão no estudo foram: estar fisicamente ativo, ou seja, o participante deve no decorrer de uma semana habitual acumular ao menos 150 minutos de atividade física; não possuir qualquer restrição de ordem cardiológica, endócrino-metabólica, respiratória e músculo-articular para a prática de esforços intensos; ter idade entre 18 anos e 30 anos e possuir disponibilidade para participar das coletas de dados a serem realizadas.

Os critérios de exclusão serão: presença de lesões musculoesqueléticas, sujeitos que tenham se lesionado nos seis meses anteriores aos testes e que apresentem alguma alteração do padrão normal de movimento do ciclismo ocasionada por lesões (osteoartrite de joelho e/ou quadril, reconstrução ligamentar do joelho, entorse de tornozelo, fraturas).

5.3 INSTRUMENTOS DE MEDIDA

5.3.1 Obtenção das variáveis antropométricas

A massa corporal foi medida através de uma balança eletrônica com resolução de 0,1 kg da marca SOEHNLE. A estatura medida através do estadiômetro com resolução de 1 mm da marca SANNY. Para a mensuração do percentual de gordura foram realizadas as medidas de espessuras de cinco dobras cutâneas (subescapular, abdominal, tricipital, supra íliaca e axilar média), através de um adipômetro científico com resolução de 1 mm da marca CESCORF.

5.3.2 Obtenção de informações sobre rotina alimentar

Estudos mostram claramente que a cafeína tem a possibilidade de exercer efeito ergogênico no desempenho físico a curto e a longo prazo, embora o grau de efeitos possa depender das características dos utilizadores principalmente quanto ao nível habitual de consumo de cafeína e estado de treinamento (BELL, MCLELLAN, 2002; BELL, MCLELLAN, 2003; COSTILL, DALSKY, 1978, apud JORDAN, FARLEY, CAPUTO, 2012). Por isso, foi aplicado um questionário (anexo) a partir do qual pôde-se investigar a rotina alimentar do sujeito e assim, estimar a quantidade de cafeína consumida habitualmente. Tais informações permitiram classificar os voluntários quanto ao grau de consumo de cafeína de acordo com a tabela de classificação de Daniels e colaboradores, (1998); Graham e Spriet, (1991); Van Soeren e colaboradores, (1993) apud Altimari et. al., (2001).

5.3.3 Obtenção das variáveis fisiológicas

Os testes laboratoriais foram realizados em um tipo de bicicleta que recebe o nome de cicloergômetro do modelo Lode Excalibur Sport, Lode BC, Groningen, Holanda.

A mensuração do consumo de oxigênio foi realizada pelo analisador de gases da marca COSMED modelo Quark CPET que mede a troca de gases pulmonares respiração a respiração. O fluxo e o volume do ar expirado foram medidos por uma turbina digital bidirecional que assegura uma boa exatidão dentro de uma escala larga de fluxo (até 20 L.s⁻¹). O analisador de

gases foi calibrado antes de cada teste para assegurar as medidas exatas do ar ambiente, do gás do cilindro e, da turbina, de acordo com as recomendações do fabricante (Cosmed S. R. L.).

5.3.4 Aferição do Pico de Torque e inferência sobre a Fadiga

A fadiga foi mensurada a partir da identificação da queda no pico de torque, registrada ao se comparar o valor desta variável (obtido por meio da realização de um Sprint isocinético com duração de 5s no cicloergômetro Excalibur Sport) antes do exercício e da ingestão da cápsula, com o valor identificado imediatamente ao término do protocolo de carga constante, por meio da realização de mais um Sprint.

5.3.5 Análise do lactato sanguíneo

Durante todos os testes foram realizadas coletas de sangue para determinar as [La]. A quantidade coletada foi de 25 μL de sangue do lóbulo da orelha em capilar heparinizado em cada coleta, o qual foi imediatamente transferido para microtubos de polietileno com tampa - tipo *Eppendorff* - de 1,5 contendo 50 μL de solução de fluoreto de sódio 1 %. A análise das concentrações de lactato sanguíneo ([La]) foi realizada utilizando um analisador eletroquímico (YSI 2700 STAT, Yellow Spring, Ohio, EUA). É válido ressaltar que o aparelho foi calibrado antes da realização da leitura através do uso de uma solução de concentração conhecida ($0,50 \text{ g.L}^{-1}$ de L-Lactate), como determina o fabricante (YSY Incorporate).

5.4 ASPECTOS ÉTICOS

Inicialmente o projeto da presente pesquisa foi enviado ao comitê de ética em pesquisa com seres humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPSH/UFSC) para análise das questões éticas envolvidas na pesquisa. É importante ressaltar que o projeto desta pesquisa com certificado de apresentação para apreciação ética de número: 56618316.4.0000.0121 atendeu a todas as prerrogativas e princípios estabelecidos na resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde, que regulamenta procedimentos éticos em

pesquisas que envolvem seres humanos. A dose de cafeína escolhida está em consonância à resolução nº 18, de 27 de abril de 2010, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que apregoa que a suplementação de 3 a 6mg.kg⁻¹ de cafeína é permitida. Sendo assim, este experimento não contrariou o órgão regulador que tem como missão promover e proteger a saúde da população e intervir nos riscos decorrentes da produção e do uso de produtos. Tal fato, contribuiu para a obtenção da aprovação da pesquisa em setembro de 2016, conforme parecer consubstanciado de número: 1.734.204 emitido pelo (CEPSH/UFSC) (anexo). A partir da aprovação a amostra começou a ser formada por voluntários, que aceitaram participar da pesquisa após serem devidamente convidados e apresentados ao Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), nesta oportunidade foram esclarecidos sobre os procedimentos metodológicos do projeto e obtiveram uma explicação dos benefícios das avaliações antropométrica e fisiológica, assim como sobre os possíveis desconfortos físicos (cansaço, aumento da frequência cardíaca e ventilação pulmonar, eventuais dores musculares nos dias seguintes), risco de quebra acidental de sigilo e possibilidade de constrangimento ou aborrecimento por parte do participante durante os procedimentos preconizados nos testes físicos e antropométricos.

5.5 PROCEDIMENTOS DA COLETA DE DADOS

Os voluntários foram orientados a não participarem de atividades físicas extenuantes, vigília prolongada e a abster-se de qualquer produto que contenha cafeína, para tanto, uma lista de produtos que possuem cafeína foi fornecida aos participantes da pesquisa. Tais cuidados se fizeram presentes por no mínimo 48 horas antes da aplicação dos protocolos de exercício. Na primeira visita ao laboratório foi realizada a avaliação antropométrica (aferação de medidas de circunferência e de dobras cutâneas) para determinação da caracterização da amostra e, em seguida os voluntários foram submetidos ao protocolo incremental (esforço gradativo máximo) no cicloergômetro para a identificação dos índices de capacidade (LV₁, LV₂) e potência aeróbia (VO_{2max}, IVO_{2max}). Nas quatro visitas subsequentes do experimento (em dias separados), os

voluntários foram submetidos à execução dos protocolos de exercícios no cicloergômetro com cargas constantes por 8 minutos em alta intensidade (60% da diferença entre o LV_1 e o $VO_{2max} - 60\% \Delta$) para determinação do comportamento da cinética de VO_2 , além da realização de *sprints* (esforço na velocidade máxima do participante) isocinéticos (antes da ingestão da cápsula e imediatamente ao término do exercício com carga constante) para determinação do pico de torque. Tais procedimentos encontram-se melhor descritos no delineamento abaixo:

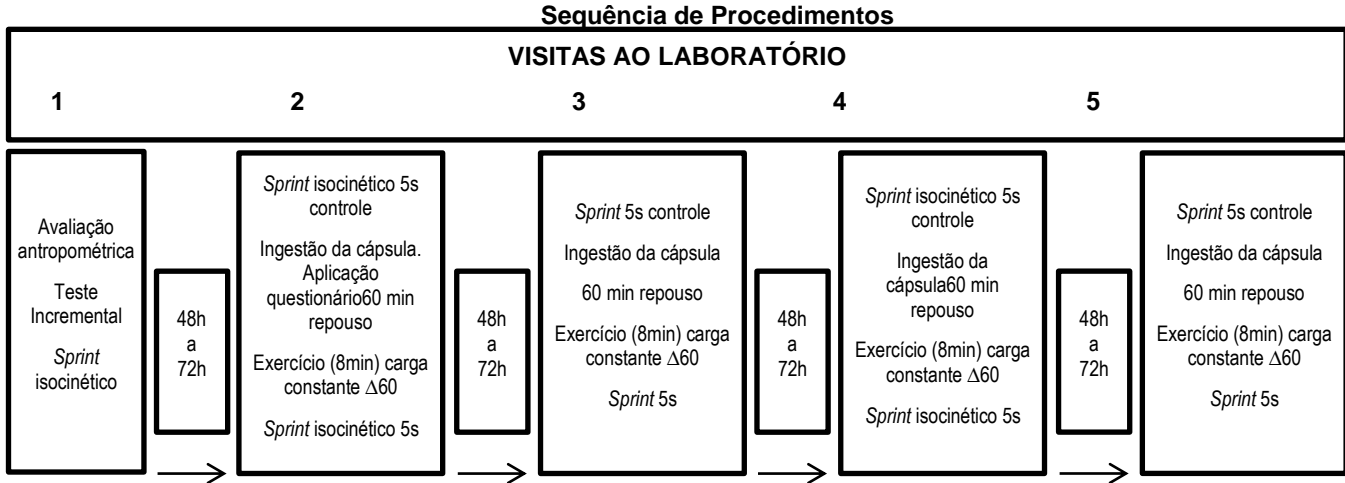
- 1) Avaliação antropométrica, realização do teste incremental no cicloergômetro para determinação do LV_1 , do VO_{2max} e de suas respectivas intensidades (IVO_{2max} e ILV).
- 2) Realização do *sprint* isocinético a 120rpm com duração de cinco segundos (controle), ingestão de cápsula, aplicação de questionário para classificação do nível habitual de consumo de cafeína, após 60 minutos da ingestão da cápsula, realização de exercício na intensidade correspondente a 60% da diferença entre o LV_1 e o VO_{2max} , ($\Delta 60$) por 8 minutos seguido imediatamente de outro *sprint* isocinético de cinco segundos.
- 3) Após 48 horas de intervalo, execução de *sprint* de 5 segundos (controle), ingestão de uma cápsula diferente da anterior, após 60 minutos da ingestão da cápsula, realização de exercício na intensidade correspondente a 60% da diferença entre o LV_1 e o VO_{2max} , ($\Delta 60$) por 8 minutos seguido imediatamente de mais um *sprint* de 05 segundos.
- Repetição dos procedimentos da visita 2.
- Repetição dos procedimentos da visita 3.

É importante ressaltar que os voluntários fizeram uso da cafeína em duas das últimas 4 visitas, como se trata de um estudo duplo cego os pesquisadores não tiveram como precisar até o final da análise de dados (momento no qual o farmacêutico responsável informou o conteúdo das cápsulas) em qual visita a ingestão de cafeína ocorreu. Todo período de intervenção foi agendado previamente com os participantes e aplicado no

mesmo horário do dia e local para todos os sujeitos, sempre respeitando um intervalo mínimo de 48 horas.

A figura 4 demonstra a sequência dos principais procedimentos adotados em cada visita dos voluntários ao laboratório.

Figura 4 - Sequência de procedimentos realizados em visitas ao laboratório.



Fonte: elaborado pelo autor

5.5.1 Avaliação antropométrica

Para estimativa do percentual de gordura corporal foi utilizado o protocolo de Faulkner que utiliza 4 dobras cutâneas (tricipital, suprailíaca, abdominal e subescapular). Com o objetivo de garantir a fidedignidade dos dados antropométricos, estes foram coletados por um avaliador experiente e credenciado para tal, que seguiu os procedimentos e as padronizações sugeridos por Petroski, (2003).

5.5.2 Ensaio duplo cego

Com o objetivo de zelar ainda mais pela veracidade e confiança dos resultados foi realizado um ensaio duplo cego randomizado, durante a aplicação dos protocolos de carga constante.

Foram fabricadas dois tipos de cápsulas (placebo e cafeína) com colorações discretamente diferentes. Apenas o farmacêutico responsável pela fabricação das cápsulas detinha o conhecimento do conteúdo das mesmas. Cada voluntário ingeriu duas cápsulas de cada tipo, sendo uma a cada teste com carga constante. Deste modo os voluntários se exercitaram duas vezes sob efeito da cafeína e duas vezes com placebo. Em cada visita foi registrada a coloração da cápsula utilizada e só no final do experimento e após a análise dos dados, o farmacêutico revelou o conteúdo de cada cápsula ingerida pelos participantes.

Diante do exposto pode-se perceber como foi empregado o estudo duplo cego, afinal pesquisador e voluntários não tinham conhecimento de quais capsulas realmente continham cafeína, pois esta informação estava apenas com o farmacêutico que não participou da coleta de dados.

As aplicações de exercício com a utilização de capsulas com e sem cafeína foram realizadas com um intervalo mínimo de 48h e máximo de 72h.

5.5.3 Administração da Cafeína

A partir do modo duplo-cego e randomizado foram fornecidas cápsulas aos voluntários uma hora antes da execução dos protocolos de exercício de carga constante. Estas cápsulas continham cafeína (6 mg.kg^{-1} de massa corporal) ou placebo

(230 mg de amido), que foram ingeridas com 200ml de água. Este método foi utilizado com êxito por Graham (2001).

5.5.4 Protocolo do teste incremental, *sprint* e de carga constante

Caracterização do teste incremental

Inicialmente o cicloergômetro foi ajustado quanto ao posicionamento do selim, pedal e guidom de acordo às dimensões corporais do voluntário.

O VO_2 e a produção de gás carbônico (CO_2) foram monitorados a cada respiração durante todo o protocolo por meio do analisador de gases, após este ser calibrado de acordo com as recomendações dos fabricantes:

- Calibração do ar ambiente: consiste em utilizar uma amostra do ar ambiente para comparação dos valores de VO_2 (20,93%) e CO_2 (0,04%) atmosféricos.
- Calibração do gás: consiste em enviar para o analisador de gases uma amostra padrão de gás do cilindro ($VO_2 = 16\%$; $CO_2 = 5\%$)
- Calibração da turbina: consiste em mensurar o volume de uma seringa de 3L para calibração do fluxo da turbina. Os dados oriundos do analisador de gases serão suavizados (média de 15 s).

Cada voluntário foi instruído a manter a cadência de pedalada de sua preferência ao longo do teste, com variações de até $\pm 5\%$ (SURIANO et. al., 2007).

Os indivíduos realizaram um teste incremental máximo no cicloergômetro Lode Excalibur Sport (Groningen Netherlands). O teste incremental possui dois estágios. O primeiro foi realizado com carga inicial de 20w por 4 minutos, a partir desse ponto foi iniciado o segundo estágio, no qual a carga é elevada de modo progressivo com incrementos de 30w distribuído no decorrer de cada minuto.

No início e no final do teste amostras de sangue (25 μ l) capilar do lóbulo da orelha foram coletadas por meio de um capilar heparinizado e, imediatamente transferidas para microtubos de polietileno com tampa - tipo *Eppendorff* - de 1,5 mL, contendo 50 μ L de solução de fluoreto de sódio 1 %. A

análise das concentrações de lactato sanguíneo ([La]) foi realizada utilizando um analisador eletroquímico (YSI 2700 STAT, Yellow Spring, Ohio, EUA).

Um transmissor do cardiofrequencímetro conectado ao analisador de gases foi colocado no tórax dos avaliados, permitindo o registro e o armazenamento do comportamento da frequência cardíaca (FC) de modo sincronizado ao VO_2 durante todo o teste incremental.

Para possibilitar que durante o teste os indivíduos atingiram o VO_{2max} os voluntários receberam um forte encorajamento verbal até o limite de tolerância ao exercício. Foram adotados alguns critérios para determinação do alcance do VO_{2max} , tais como: razão de trocas respiratórias superior ou equivalente ao valor de 1,1 e o VO_2 parar de aumentar ou começar a diminuir com o aumento da carga (LEIRDAL; ETTEMA, 2011).

Os critérios para interrupção do teste incremental foram: redução da cadência superior a 10 rpm por mais de 5 s (BLACK et. al., 2015), a frequência cardíaca atingir valores máximos preditos para a idade ou o voluntário apresentar sintomas de fadiga voluntária máxima (ROSSATO, 2007).

Caracterização do teste de carga constante

Após 48 a 72 horas do teste incremental, os sujeitos realizaram protocolo de carga constante no cicloergômetro. Inicialmente foi realizado um estágio de linha de base com duração de 3 minutos com carga de 20 watts, momento no qual foi coletada a primeira medida da percepção subjetiva de esforço (PSE) a partir do término deste estágio iniciou-se uma nova fase com intensidade equivalente ao $\Delta 60$, por 8 minutos para que fosse possível garantir a presença do componente lento e a avaliação da amplitude do mesmo e demais parâmetros da cinética do consumo de oxigênio. No minuto final dessa etapa do protocolo de exercício foi realizada a última coleta da PSE. É válido ressaltar que segundo Cannon et. al. (2011) exercícios realizados na intensidade $\Delta 60$ correspondem ao domínio severo.

5.5.5 Determinação do limiar ventilatório

O limiar ventilatório (LV_1) de cada voluntário foi determinado como a) o momento no qual ocorreu um primeiro aumento não linear na relação produção de dióxido de carbono (VCO_2) versus VO_2 (método *v-slope*); b) um aumento na ventilação minuto (VE) relativa ao VO_2 (VE/VO_2) sem um aumento evidente na VE/VCO_2 ; e c) um primeiro aumento na tensão final de O_2 sem uma queda na tensão final de CO_2 (BEAVER; WASSERMAN; WHIPP, 1986).

5.5.6 Determinação dos parâmetros da cinética VO_2

Os dados de VO_2 respiração a respiração de cada teste foram inicialmente examinados para excluir valores extremos causados por suspiros, tosses, etc. Posteriormente os referidos dados foram interpolados linearmente para gerar valores de segundo a segundo em cada transição e alinhados ao tempo de início de exercício. Os 20 segundos iniciais após o início de cada transição (fase cardiodinâmica) foram excluídos da análise (WHIPP; ROSSITER, 2005). As respostas de VO_2 a partir destas transições foram colocadas em média antes de qualquer análise para diminuir a influência do “ruído do sinal” entre as respirações e melhorar a confiança nos parâmetros derivados do modelo matemático, ou seja, as duas transições de cada momento foram intercaladas. Os dados que estavam mais que quatro desvios-padrão da média local foram removidos (LAMARRA et. al., 1987).

Técnicas de regressão não linear foram usadas para ajustar os dados depois do início do exercício com uma função exponencial. Um processo iterativo assegurou que a soma dos quadrados dos resíduos fossem minimizados. O modelo matemático consistiu de um termo exponencial representando uma fase da resposta (BARSTOW; MOLÉ, 1991; BARSTOW et. al., 1996). Baseado na literatura prévia (BARSTOW et al., 1996), o modelo foi ‘fixado’ no VO_2 de linha de base para contribuir na identificação dos parâmetros-chave, conforme a equação descrita a seguir:

$$(1) VO_2(t) = VO_{2base} + A_p \cdot [1 - e^{-\frac{(t-TDp)}{\tau p}}]$$

Onde: $VO_2(t)$ = representa o VO_2 absoluto num dado tempo t ; o VO_{2base} representa a média de VO_2 durante o último minuto no período de linha de base antecedente ao início do exercício; A_p , TD_p e τ_p representam a amplitude, tempo de atraso e constante tempo, respectivamente, descrevendo o aumento do VO_2 acima da linha de base na fase primária.

Para uma mensuração mais apropriada do VO_{2CL} foi realizado um ajuste mono exponencial em todo o tempo de exercício (i.e., 480 s) e, em seguida utilizados os seguintes métodos (Rossiter et al., 2002) para determinação do início da fase secundária: a) um ponto de quebra e um sistemático aumento do τ_p e da A_p , respectivamente e; b) um distanciamento da distribuição do resíduo ao redor do zero. Assim o VO_{2CL} foi estimado a partir da equação 2:

$$(2) \quad VO_{2CL} = VO_{2end} - (VO_{2base} + A_p)$$

Sendo o VO_{2end} considerado a média do VO_2 dos últimos 15 s finais do 8º min de exercício.

5.5.7 Identificação do pico de torque isocinético (PT)

O primeiro passo para a obtenção do PT consistiu em ajustar o cicloergômetro de modo que imediatamente ao final do protocolo de aquecimento ou de exercício com carga constante o mesmo permita a realização do *sprint* isocinético que possui cadência limitada a 120rpm.

O primeiro PT coletado foi o controle, para isso os voluntários foram convidados a realizar um aquecimento de cinco minutos na intensidade referente a 100% do LV_1 , realizando logo em seguida 10 revoluções máximas no modo isocinético, ou seja, um *sprint* máximo com duração de 5s. Considerou-se o pico de torque como sendo a média do maior valor obtido durante as 10 revoluções máximas para cada uma das pernas. 60 minutos após a obtenção desta variável e à ingestão da cápsula, o protocolo de carga constante com intensidade equivalente ao 60% Δ , foi iniciado imediatamente ao final da duração de oito minutos a mensuração do outro pico de torque. É importante ressaltar que foram coletados *sprints* controle em todas as visitas subsequentes a realização do teste incremental.

Para fins de comparação foi utilizada a diferença nos valores de torque entre o *sprint* controle e o *sprint* realizado ao

final da carga constante (Δ torque). Cannon et. al. (2011) verificaram a viabilidade desta metodologia para detectar a fadiga muscular (diminuição do torque) na intensidade do domínio muito pesado, portanto, em condições metabólicas para o organismo similares ao do presente estudo.

5.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Inicialmente foi realizada a descrição das variáveis quantitativas com a apresentação da média, desvio padrão, valores mínimos e máximos e intervalo de confiança (95%). O tratamento dos dados e construção dos dados foram realizados no software *Graphpad Prism* versão 5.0. O teste de *Shapiro-Wilk* ($n < 50$) foi utilizado para verificar a normalidade dos dados. Aplicou-se o teste *t-student* para amostras pareadas com o intuito de verificar as diferenças nas variáveis relacionadas à cinética de VO_2 . Para as demais variáveis fez-se uso da análise de variância de dois fatores para medidas repetidas. Foi adotado um nível de significância de $p \leq 0,05$.

6 RESULTADOS

Esta parte do trabalho se inicia com a apresentação dos dados descritivos dos voluntários da pesquisa.

6.1 CARACTERÍSTICAS DOS SUJEITOS

Tabela 1 - Média e desvio padrão (\pm DP) referentes às características dos sujeitos do estudo (n=12).

Idade (anos)	26,2 \pm 4,7
Massa corporal (kg)	77,7 \pm 8,9
Estatura (cm)	177,3 \pm 6,5
Percentual de Gordura (%)	10,9 \pm 3,9

Teste Incremental

Tabela 2 - Média e desvio padrão (\pm DP) referentes às variáveis obtidas no teste incremental (n=12).

Potência Pico (W)	334,3 \pm 55,9
VO ₂ max. (ml.kg.min ⁻¹)	46,7 \pm 7,8
VO ₂ max. (l.min ⁻¹)	3,6 \pm 0,5
LV ₁ (W)	109,6 \pm 24,6
LV ₁ (l.min ⁻¹)	1,7 \pm 0,3
Δ 60(W)	228,4 \pm 30,6
Δ 60 (l.min ⁻¹)	2,9 \pm 0,4

Potência Pico= maior valor de potência alcançado. VO₂max = consumo máximo de oxigênio. LV₁= Primeiro limiar de transição fisiológica. Δ 60= LV₁ mais 60% da diferença entre o LV₁ e o VO₂max.

Os valores percentuais do consumo de oxigênio na carga constante (Δ 60) da amostra, correspondem a 79,92 \pm 3,11% do VO₂ max, enquanto que o Limiar de Transição Fisiológica 1(LV₁) dos 12 sujeitos correspondeu a 49,02 \pm 8,06% do VO₂ Max.

6.2 CAFEÍNA X PLACEBO NA CINÉTICA DO CONSUMO DE OXIGÊNIO

A tabela 3 reúne os dados das variáveis relacionadas à cinética nas condições em que os voluntários ingeriram cafeína e substância placebo.

Tabela 3 - Média e desvio padrão (\pm DP) e intervalo de confiança (IC 95%) das variáveis da cinética do consumo de oxigênio obtidas nas condições placebo e cafeína (n=12).

Variáveis	Placebo		Cafeína		Valor de p
	Média \pm DP	IC 95%	Média \pm DP	IC 95%	
$\text{VO}_2 \text{ base}$ (l.min ⁻¹)	1,1 \pm 0,1	1,06 a 1,2	1,2 \pm 0,1	1,09 a 1,3	0,06
$\text{VO}_2 \text{ final}$ (l.min ⁻¹)	3,55 \pm 0,4	3,29 a 3,8	3,6 \pm 0,4	3,35 a 3,8	0,3
A_p (l.min ⁻¹)	1,96 \pm 0,3	1,78 a 2,1	1,94 \pm 0,3	1,77 a 2,1	0,1
A_t (l.min ⁻¹)	3,1 \pm 0,3	2,87 a 3,3	3,14 \pm 0,3	2,91 a 3,4	0,5
$\text{VO}_{2\text{CL}}$ (l.min ⁻¹)	0,452 \pm 0,2	0,33 a 0,6	0,456 \pm 0,2	0,29 a 0,6	0,2
τ (s)	38,3 \pm 14,3	29,2 a 47,4	36,7 \pm 7,5	31,9 a 41,5	0,3
TD (s)	9,6 \pm 6,1	5,7 a 13,5	11,1 \pm 5	7,9 a 14,3	0,2

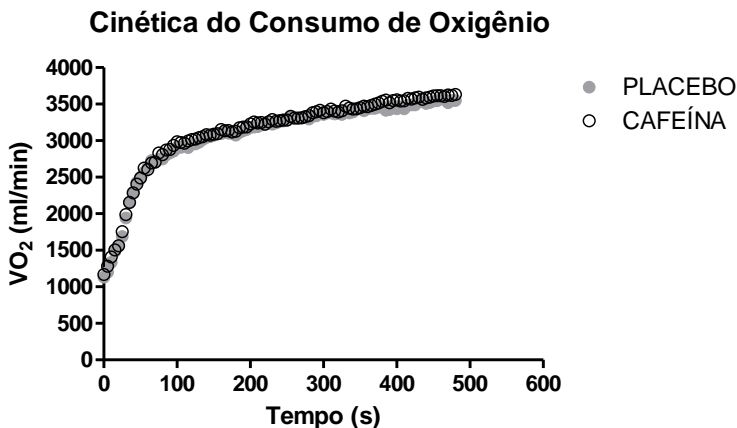
$\text{VO}_2 \text{ base}$ = consumo de oxigênio no minuto anterior ao início do exercício com carga constante. $\text{VO}_2 \text{ final}$ = consumo de oxigênio ao final do exercício com carga constante. A_p = amplitude. A_t = amplitude total ($A_p + \text{VO}_2 \text{ rep}$). $\text{VO}_{2\text{CL}}$ = componente lento do consumo de oxigênio. τ = constante tempo. TD = tempo de atraso.

A comparação das médias de cada variável da cinética do consumo de oxigênio revelou que o VO_2 rep, VO_2 final, Amplitude, Amplitude total, VO_{2CL} , τ e TD, obtidos na condição placebo não diferiram das mesmas variáveis na condição cafeína, tal fato, constata-se a partir do *p-valor* oriundo do teste t de *student* realizado com cada par de variáveis.

Ainda sobre os resultados concernentes à cinética do consumo de oxigênio, é importante ressaltar a variação existente entre os sujeitos no que se refere ao ΔVO_{2CL} que variou de - 273ml a 519,5ml entre as condições placebo e cafeína.

A figura 5 demonstra a sobreposição das curvas do VO_2 nas condições cafeína e placebo, o que permite constatar que a cafeína não alterou a cinética do VO_2 .

Figura 5 - Resposta do VO_2 ao exercício de alta intensidade ($\Delta 60$) de carga constante com duração de 480 segundos em duas condições diferentes (placebo e cafeína). Os valores de consumo de oxigênio estão apresentados em média do grupo (12 sujeitos). Círculos abertos representam o VO_2 sob efeito da cafeína e os círculos sólidos demonstram o VO_2 , após a ingestão da cápsula placebo.



Fonte: elaborado pelo autor

6.3 CAFEINA X PLACEBO NA FREQUÊNCIA CARDÍACA (FC), CONCENTRAÇÕES DE LACTATO SANGUÍNEO [La] E DE PERCEPÇÃO SUBJETIVA DE ESFORÇO (PSE)

A tabela 4 expõe informações relacionadas à FC, [La] e PSE obtidas nas condições placebo e cafeína.

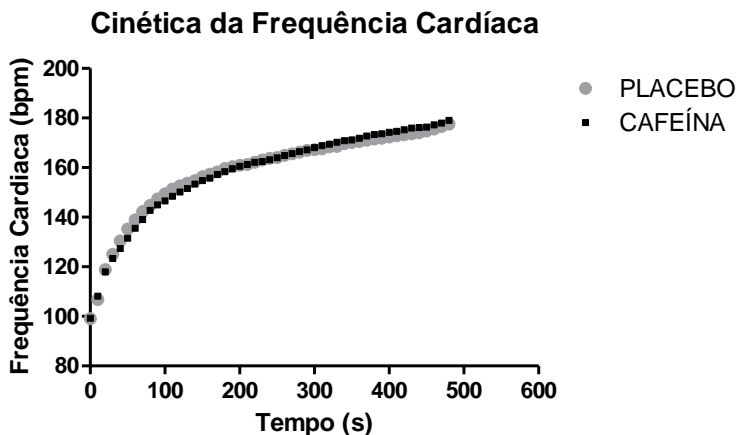
Tabela 4 - Média, desvio padrão (\pm DP) intervalo de confiança (IC 95%) dos valores de FC, das concentrações de lactato sanguíneo [La] e de percepção subjetiva de esforço (PSE) obtidos no início e no final dos protocolos de exercício de carga constante, para ambas as condições.

Variáveis	Placebo			
	Início		Final	
	Média \pm DP	IC 95%	Média \pm DP	IC 95%
FC (bpm)	99 \pm 11	92 a 106	177 \pm 10	171 a 184
[La] (mmol.L ⁻¹)	1,35 \pm 0,3	1,15 a 1,55	8,25 \pm 2,2	6,85 a 9,66
PSE	7,20 \pm 1,09	6,51 a 7,9	17 \pm 1,53	16 a 17,9
Variáveis	Cafeína			
	Início		Final	
	Média \pm DP	IC 95%	Média \pm DP	IC 95%
FC (bpm)	99 \pm 13	91 a 108	179 \pm 10	173 a 185
[La] (mmol.L ⁻¹)	1,42 \pm 0,35	1,2 a 1,65	8,98 \pm 2,45*	7,42 a 10,54
PSE	7,04 \pm 0,94	6,44 a 7,63	15,91 \pm 1,78*	14,8 a 17

FC = Frequência cardíaca, [La] = concentração de lactato sanguíneo, PSE = percepção subjetiva de esforço. * Diferente significativamente ($p < 0,05$) em relação à condição placebo.

Os dados referentes à cinética da frequência cardíaca revelaram que não houve diferença da mesma entre as condições placebo e cafeína ($F=0,98$ e $p=0,76$). Tal fato pode ser constatado visualmente na figura 06, que demonstra a sobreposição de ambas as curvas.

Figura 6 - Resposta da frequência cardíaca (FC) ao exercício severo ($\Delta 60$) de carga constante com duração de 480 segundos em duas condições diferentes (placebo e cafeína). Os valores da FC foram obtidos a partir do cálculo da média da FC dos 12 voluntários do estudo em cada intervalo de tempo. Círculos sólidos representam a FC sob efeito da cápsula placebo e os quadrados sólidos na cor preta demonstram a FC, após a ingestão da cafeína.



Fonte: elaborado pelo autor

Foi observada interação condição-tempo significativa ($F=138,9$ e $P < 0,01$) para as $[La]$. A análise de variância revelou que a $[La]$ obtida 60 minutos após a ingestão da cápsula, momento este que antecede a execução do exercício com carga constante, não difere entre as condições placebo e cafeína. Porém, ao avaliar tal variável ao final do exercício, constatou-se que a $[La]$ foi maior sob efeito da cafeína ($P < 0,01$). Em média houve um aumento de $0,72 \text{ mmol.L}^{-1}$ (intervalo de confiança 95%: $-1,41$ a $2,87$).

Houve interação condição-tempo nos valores de PSE ($F=16,03$ e $P=0,002$). A PSE após a ingestão da cápsula e antes do exercício não diferiu entre as condições cafeína e placebo ($P=0,504$). Entretanto, a PSE após o exercício foi significativamente diferente, ($P= 0,004$) apresentando uma diminuição média de $1,1$ (intervalo de confiança 95%: $0,4$ a $1,7$) quando os sujeitos encontram-se sob efeito da cafeína.

6.4 CAFÉINA X PLACEBO NO PICO DE TORQUE (PT)

Não houve interação condição-tempo na variável torque ($F= 0,00$ e $p= 0,99$), o que significa que a cafeína não alterou o PT quando comparada à condição placebo. No entanto, como esperado houve diminuição do PT ao se comparar os valores obtidos antes e depois do exercício de alta intensidade em ambas as condições ($F= 23,19$ e $P=0,001$). Em média os voluntários tiveram uma redução de $20,21\pm 14,31\%$ no PT após o exercício e ingestão da capsula placebo e uma diminuição média de $20,55\pm 13,17\%$ ao término do protocolo de exercício com carga constante sob efeito da cafeína.

Tabela 5 - Média, desvio padrão ($\pm DP$) e intervalo de confiança (IC 95%) dos valores relativos aos picos de torque (PT).

Variável	Placebo			
	Início		Final	
	Média \pm DP	IC 95%	Média \pm DP	IC 95%
PT(Nm)	144,6 \pm 18,6	132,8 a 156,4	114,4 \pm 21,1	101 a 127,8
	Cafeína			
	Início		Final	
	Média \pm DP	IC 95%	Média \pm DP	IC 95%
PT(Nm)	143,9 \pm 18,7	132 a 155,8	113,6 \pm 21,25	100 a 127

7 DISCUSSÃO

A presente pesquisa teve como objetivo analisar o efeito agudo da ingestão de cafeína no comportamento da cinética do VO_2 , fadiga muscular, parâmetros fisiológicos e na percepção subjetiva de esforço em indivíduos fisicamente ativos a partir de um experimento duplamente cego e de um protocolo de exercício em ciclo ergômetro com carga constante de alta intensidade.

Apesar da ampla evidência na literatura de que a cafeína, ingerida antes do exercício, é capaz de aprimorar o desempenho físico, nossos resultados não refletem estes achados prévios, uma vez que a presente pesquisa demonstrou que os efeitos ergogênicos da cafeína podem ser pouco relevantes nas condições experimentais utilizadas. Não obstante, nossos resultados encontram respaldo em estudos que também reportam a ausência de efeito ergogênico da cafeína na fadiga e em variáveis da cinética do VO_2 .

Inicialmente queremos ressaltar que a dificuldade de interpretação das pesquisas sobre os efeitos da cafeína na atividade esportiva pode ser, em parte, explicada pela falta de padronização das investigações científicas, afinal, tem-se analisado os efeitos ergogênicos da cafeína empregando variados protocolos e modelos de estudo com populações, doses, formulações e técnicas de ingestão distintas (ALTIMARI et. al., 2000; GRANHAM, 2001; WARREN et. al., 2010).

Outro importante aspecto que deve ser salientado é que muitas pesquisas que encontraram efeito positivo da cafeína no desempenho físico devem ter suas conclusões analisadas com parcimônia, principalmente aquelas que encontraram uma pequena diferença percentual nas variáveis de desempenho, pois o efeito placebo pode se fazer presente e, assim, gerar conclusões equivocadas (BEEDIE, STUART, COLEMAN, FOAD, 2006).

O efeito placebo consiste na confiança de um indivíduo na eficácia que um tratamento pode proporcionar uma melhoria em seu organismo (CLARK, HOPKINS, HAWLEY, BURKE, 2000). Embora os cientistas desportivos tentem minimizar os efeitos placebo, a partir de estudos cegos ou duplamente cegos, poucos pesquisadores têm procurado quantificar e explicar o efeito placebo e sua magnitude. Com o intuito de investigar esta relação Beedie, Stuart, Coleman, Foad, (2006)

recrutaram seis ciclistas masculinos bem treinados para um contra relógio de 10 km. Os participantes foram informados que receberiam três cápsulas diferentes contendo: um placebo, $4,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ de cafeína, $9,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ de cafeína, distribuídos aleatoriamente. No entanto, placebos foram administrados em todas as condições experimentais. A relação dose-resposta foi evidente, os sujeitos reduziram o desempenho em $1,4 \pm 3,1\%$, quando acreditavam ter ingerido um placebo em comparação com a situação controle (sem ingestão de cápsula alguma), aumento de $1,3 \pm 2,7\%$, ao pensar que haviam ingerido $4,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ de cafeína e uma performance aumentada em $3,1 \pm 3,4\%$ quando eles acreditavam que tinham ingerido $9,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ de cafeína. Todos os ciclistas relataram sintomas relacionados com a cafeína. Os dados quantitativos e qualitativos sugerem que os efeitos do placebo estão associados com a administração de cafeína e que estes podem aumentar direta ou indiretamente o desempenho em ciclistas bem treinados (BEEDIE, STUART, COLEMAN, FOAD, 2006).

A variabilidade de resultados entre os sujeitos da amostra, também é um aspecto a ser considerado. Gano, et. al. (2009) fizeram uma revisão sistemática com estudos que mediram o desempenho a partir de desafios com contra relógio e identificaram uma melhora média no desempenho com ingestão de cafeína equivalente a $3,2 \pm 4,3\%$; entretanto, essa melhora foi altamente variável entre os sujeitos ($-0,3$ a $17,3\%$).

Outros pesquisadores (DOHERTY et. al., 2002, MEYERS, CAFARELLI, 2005; GRANHAM et. al., 2008) têm constatado uma grande variabilidade individual no que se refere ao efeito ergogênico da cafeína, cuja causa ainda não é totalmente conhecida, entretanto, um estudo sobre o papel de um polimorfismo no intron 1 do gene da citocromo P450 1 A2 (principal responsável pelo metabolismo da cafeína) revelou que a suplementação de cafeína promoveu maior redução no tempo para completar 40 km no ciclo ergômetro em ciclistas detentores do polimorfismo ($-4,9\%$; cafeína = 72.4 ± 4.2 minutos, placebo = 76.1 ± 5.8 minutos) em comparação ao grupo controle ($-1,8\%$; cafeína = 70.9 ± 4.3 minutos, placebo = 72.2 ± 4.2 minutos) (YANG et. al., 2010; WOMACK et. al., 2012). Sendo assim, parece plausível afirmar que fatores de ordem genética podem estar associados a respostas diferenciadas da ingestão de cafeína no desempenho físico entre indivíduos.

Cafeína x Placebo na cinética do consumo de oxigênio

É notória a carência de estudos (POWERS, DODD, WOODVARD E MANGUM, 1983; BELL et. al. 1999; SANTALLA, LUCIA, PEREZ, 2001; SIMMONDS, MINAHAN, SABAPATHY, 2010) que investigaram os efeitos da cafeína em variáveis relacionadas à cinética do VO_2 .

Tem-se argumentado que uma redução da amplitude do VO_{2CL} e da constante tempo (τ) são benefícios que potencialmente melhoram a tolerância ao exercício, visto que uma aceleração da cinética do VO_2 pode refletir num menor déficit de O_2 (FUKUOKA et. al., 2002; BURNLEY et. al., 2005; CARTER et. al., 2005; GRASSI et. al., 2003). A cinética do VO_2 mais rápida está associada a um menor déficit de O_2 , perturbação da homeostase celular reduzida, menor degradação da fosfocreatina e reservas de glicogênio, menor acúmulo de lactato e H^+ . Tais fatores promovem consequências positivas na tolerância ao exercício e na fadiga muscular (GRASSI, 2001).

No entanto, nossos resultados revelaram que a cafeína não foi capaz de alterar o VO_{2CL} e outras variáveis da cinética do VO_2 (tabela 3 e a figura 4).

Bell et. al. (1999), baseando-se na teoria de que a cafeína é capaz de promover um maior metabolismo das gorduras e preservação do glicogênio (SPRIET et. al. 1992; COSTILL, DALSKY, FINK, 1978), formularam uma hipótese que tal aprimoramento metabólico estivesse associado a uma cinética do VO_2 mais rápida. No entanto, constataram que a ingestão de 6 mg.kg^{-1} de cafeína também não alterou o VO_{2CL} e a cinética do VO_2 em exercício de ciclismo com intensidade moderada (50% do VO_2 máx.) e pesada (80% do VO_2 máx.). Apesar de argumentarem que efeitos ergogênicos, podem se fazer presentes com doses de 6 mg.kg^{-1} de cafeína. Os autores sugerem que talvez seja necessária uma dose maior de cafeína para que alterações metabólicas e efeitos ergogênicos possam ser refletidos na cinética do VO_2 , pois Graham, Spriet (1995) detectaram aumento nas concentrações sanguíneas de glicerol e ácidos graxos livres apenas com doses de 9 mg.kg^{-1} .

Os resultados de Bell et. al. (1999) coadunam com os nossos e os obtidos por Powers, Dodd, Woodward e Mangum (1986) que, após analisarem variáveis da cinética do VO_2 , concluíram que não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre

as mesmas nas condições placebo e cafeína. Sobre isto, Gaesser; Rich (1985) também constataram que os valores de VO_2 , ventilação e coeficiente respiratório, não foram afetados pela cafeína em exercício máximo e submáximo.

Dada a marcada diferença na taxa de resposta do VO_2 em exercícios de diferentes intensidades (CARTER et. al., 2000; DENADAI, CAPUTO, 2003) e o potencial efeito da cafeína na atenuação da fadiga, Simmonds, Minahan, Sabapathy (2010) presumiram a possibilidade da cafeína influenciar positivamente a cinética do VO_2 em exercício realizado em intensidade supra máxima (120% do VO_2 pico), a partir da ideia de que se a cinética do VO_2 durante o exercício supra máximo for mais rápida após a ingestão de cafeína, a tolerância ao exercício pode aumentar reduzindo a dependência da produção de energia anaeróbia no início do exercício. Sendo assim, o objetivo dos autores foi determinar se a melhora do desempenho de ciclistas masculinos bem treinados em exercício supra máximo está associada ao aumento do metabolismo aeróbio, determinado pela cinética de VO_2 e o déficit de O_2 . No entanto, foi descoberto que a cinética do VO_2 também não foi alterada em exercício de ciclismo nesta intensidade. Deste modo, os autores sugeriram que o aumento do tempo de tolerância ao exercício detectado não foi decorrente de um aumento da produção aeróbia de energia e, sim, proveniente de um aprimoramento na manutenção da homeostase de eletrólitos com destaque para o K^+ .

Inibir um aumento do K^+ plasmático pode criar um ambiente mais favorável para o processo de excitação-contração das fibras musculares sendo capaz de potencialmente atrasar a fadiga (CLAUSEN, 1996; DAVIS, VERDE, 2009). Assim, a manutenção de um adequado gradiente eletroquímico de Na^+ e K^+ é importante para a ocorrência de contrações musculares mais fortes (RENAUD, 2002). Sobre isso, a cafeína demonstrou ser capaz de atenuar o aumento de K^+ durante o trabalho aeróbio (DAVIS, GREEN, 2009; LINDINGER, GRAHAM, SPRIET, 1993; SIMMONDS, MINAHAN, SABAPATHY, 2010).

Para Cruz et. al. (2015), o aumento de 22,7% no tempo de exaustão decorrente do efeito da ingestão de 6 mg.kg^{-1} de cafeína em ciclistas que se exercitaram na máxima fase estável do lactato (MLSS) foi acompanhado por diminuição na relação de troca respiratória ($p=0,001$). Esses resultados, segundo os autores, reforçam achados que indicam que a economia dos

estoques de glicogênio decorrente de uma maior mobilização e oxidação de ácidos graxos livres, concitadas pela ação da cafeína poderia ser um dos vários efeitos fisiológicos desta substância durante o desempenho submáximo.

No que diz respeito aos fatores que podem respaldar nossos achados que culminaram na inexistência de alterações na cinética do VO_2 estão o horário de ingestão da cafeína e o estado de treinamento dos voluntários da pesquisa. As observações de Boyett et. al. (2016), em seu experimento, visaram determinar se o desempenho de ciclistas treinados e não treinados foi ou não diferencialmente impactado pela hora do dia e/ou estado de treinamento. Sendo assim, seus resultados indicaram que ciclistas treinados possuem maiores chances de obter efeitos ergogênicos da cafeína durante a manhã, em contraposição, parece que indivíduos não treinados são capazes de obter maior desempenho físico com o uso de cafeína à noite.

Os achados de Pataky et. al. (2016) estão em consonância com as informações supramencionadas, pois os mesmos detectaram efeito da cafeína quando esta foi utilizada por ciclistas antes das 10 horas da manhã. Isso parece fazer sentido diante do fato que a ingestão da cafeína e os testes físicos subsequentes realizados em nossa pesquisa não foram aplicados à noite. A escassa informação sobre este tópico também torna difícil fornecer uma explicação bem fundamentada para elucidar por que a cafeína parece fornecer um benefício mais pronunciado em indivíduos treinados na parte da manhã. Uma hipótese segundo Boyett. et. al. (2016) é que os ganhos maiores com a cafeína na manhã, estão relacionados a desempenhos inferiores neste turno do dia quando comparados à noite na ausência da cafeína, o que possibilitaria uma maior margem de melhora.

Graham (2001) especula que indivíduos altamente treinados podem ter músculo ou outros tecidos mais sensíveis à cafeína e por isso se beneficiam mais do estímulo de tal substância. Outro aspecto importante é o fato que a amostra da nossa pesquisa foi constituída por homens fisicamente ativos e não por atletas. Sobre isso, Collomp et. al. (1992) descobriram que a velocidade de natação foi aumentada com a ingestão de cafeína em nadadores treinados, mas não registrou melhora em indivíduos destreinados.

Em oposição aos nossos resultados no que concerne à cinética do VO_2 , Santalla, Lucia, Perez (2001) investigaram em oito homens e em uma mulher os efeitos da ingestão de 5 mg.kg^{-1} de cafeína no $\text{VO}_{2\text{CL}}$, em exercício de corrida em esteira a 90% da menor velocidade na qual se atingiu o $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($v\text{VO}_{2\text{max}}$). Os resultados revelaram que a amostra sob efeito da cafeína apresentou em média um $\text{VO}_{2\text{CL}}$ 50% menor. Tais valores médios foram significativamente menores ($p < 0,05$) na condição cafeína ($83 \pm 31 \text{ ml.min}^{-1}$) quando comparados à condição placebo ($167 \pm 26 \text{ ml.min}^{-1}$). A partir desses resultados, os autores sugeriram que o efeito ergogênico da cafeína em um exercício realizado no domínio severo pode ser em parte mediado por uma possível atenuação do $\text{VO}_{2\text{CL}}$.

Ao analisar os resultados do estudo supracitado, percebemos que suas conclusões devem ser utilizadas com cautela, afinal, o referido estudo apresenta algumas limitações capazes de interferir diretamente em seus resultados, dentre elas: os pesquisadores usaram em seu experimento uma esteira ergométrica, sobre isto, Carter et. al. (2000) concluíram que o $\text{VO}_{2\text{CL}}$ obtido em teste físico com ciclo ergômetro foi significativamente maior quando comparado ao advindo de exercício em esteira. Ainda segundo estes autores, tal diferença está relacionada com o maior desenvolvimento de tensão intramuscular no exercício intenso em ciclo ergômetro e o maior componente de exercício excêntrico envolvido, isto pode causar um recrutamento relativamente maior das fibras musculares do tipo II que são menos eficientes no trabalho exigido (BARSTOW et. al., 1996).

Outra limitação refere-se à realização de apenas uma transição para análise de gases em cada condição (cafeína e placebo), deste modo, o processo de limpeza dos dados pode ficar comprometido, assim como os resultados, afinal, estes podem gerar valores que não refletem o comportamento do fenômeno estudado (SANTANA et. al. 2007; JONES et. al. 2011). Para não incorrer neste erro, duas transições para cada condição experimental devem ser obtidas e alinhadas ao tempo de início de exercício e postas em médias estacionárias de 5 segundos, antes de qualquer análise para diminuir a influência do “ruído do sinal” entre as respirações e melhorar a fidedignidade dos dados (WHIPP; ROSSITER, 2005). Portanto, não se pode afirmar que o valor atribuído ao $\text{VO}_{2\text{CL}}$ é real ou se foi formado pela presença

de ruídos residuais de sinal (registrados pelo analisador de gases) que não puderam ser eliminados devido à ausência de outra transição para cada condição.

Outro fator limitante diz respeito ao método escolhido pelos autores para determinação do VO_{2CL} que consistiu em calcular o ΔVO_2 entre o último e o terceiro minuto de exercício, o que provavelmente subestima tal variável quando comparado aos métodos de obtenção do VO_{2CL} a partir de um modelo bi exponencial ou da diferença entre o VO_2 final e o valor obtido por um ajuste mono exponencial (SANTANA et. al. 2007).

Finalmente, o exercício prévio que eles utilizaram como aquecimento (10 minutos a 60% da vVO_{2max}), pode, segundo Faisal et. al. (2009), ter sido capaz de alterar a cinética do VO_2 , pois as interações cardiorrespiratórias no início do exercício dinâmico são modificadas por esse tipo de intervenção.

Sobre o exercício prévio, os principais fatores capazes de alterar a cinética do VO_2 decorrentes desta intervenção, possivelmente, encontram-se relacionados ao aprimoramento do fornecimento de O_2 , potencialização do metabolismo oxidativo muscular e alterações no padrão de recrutamento das unidades motoras (BURNLEY, JONES, CARTER, DOUST, 2000; BURNLEY, DOUST, JONES, 2005).

Tais constatações, em relação ao estudo de Santalla Lucia, Perez (2001), dificultam o processo de discussão com os resultados obtidos em nossa pesquisa que apresenta aspectos metodológicos mais robustos. Diante do exposto, reafirmamos nossos achados que corroboram com os obtidos por Bell et. al. (1999), Powers, Dodd, Woodward, Mangum (1986) e Simmonds, Minahan, Sabapathy (2010) e também acreditamos, entre outros aspectos, que serão tratados, no decorrer desta sessão, que o estado de treinamento (homens não treinados) e o horário de execução dos testes (diurno) podem ter contribuído para a rejeição de nossa primeira hipótese.

Cafeína x Placebo na frequência cardíaca (FC)

A literatura traz constatações controversas, no que concerne às consequências da cafeína na FC durante exercícios físicos, sendo que alguns encontraram maior FC após ingestão de cafeína (ASTORINO et. al., 2012; BELL; JACOBS; ZAMECNIK, 1998; LAURENCE; WALLMAN; GUELFY, 2012),

diminuição da FC (GAESSER; RICH, 1985) e outros não identificaram alterações (DEMURA; YAMADA; TERASAWA, 2007; MOTL et. al., 2006). Em uma revisão sobre os efeitos da cafeína, Graham (2001) ressaltou que a ingestão de cafeína raramente influencia as funções cardiovasculares. Tal afirmação encontra apoio em nossos achados na presente pesquisa conforme pode ser visto nas informações da tabela 4 e figura 3.

Alves et. al. (1995) investigaram em oito homens o efeito da ingestão de 10 mg.kg^{-1} de cafeína a partir de exercício em cicloergômetro com 80% da carga máxima de trabalho até exaustão. O experimento revelou que não houve melhora no desempenho físico e que a cafeína não alterou a FC, assim como, não afetou outros parâmetros fisiológicos medidos.

Graham; Spriet (1995) administraram em atletas treinados diferentes doses de cafeína (3, 6 ou 9 mg.kg^{-1}) para avaliar respostas fisiológicas e o impacto da droga sobre o metabolismo e a tolerância em exercícios de corrida a 85% do VO_2max . Uma hora antes do exercício, os voluntários ingeriram cápsulas de placebo ou cafeína, descansavam e depois corriam a 85% do VO_2 até a exaustão voluntária. Somente a dose mais alta de cafeína (9 mg.kg^{-1}) gerou o maior efeito sobre a epinefrina e os metabolitos sanguíneos, embora tenha tido o menor efeito no desempenho. Estes resultados não são compatíveis com a teoria tradicional de que a cafeína medeia seu efeito ergogênico através do estímulo à produção de catecolaminas. Ademais, as informações trazidas por Granham; Spriet (1995) ajudam a entender porque a FC não foi alterada com a ingestão de cafeína na dose por nós administrada (6 mg.kg^{-1}). Provavelmente assim como no experimento dos autores supracitados, a dose de cafeína que utilizamos não foi suficiente para concitar um maior estímulo ao sistema nervoso simpático que desencadeia a produção de catecolaminas (GRANHAM, 2001) que por sua vez promovem respostas cardiovasculares tais como o aumento da FC (MCARDLE, KATCH, KATCH, 2016).

Os resultados trazidos por Alves et al. (1995) entram em conflito com os relatados por Granham; Spriet (1995) no que concerne ao efeito dose resposta da cafeína nas catecolaminas, pois segundo os primeiros autores a dose de 10 mg.kg^{-1} não proporcionou aumento da FC. Sobre isto acreditamos que tal fato possa ser atribuído à variabilidade interindividual, no que concerne às respostas fisiológicas concitadas pela cafeína.

Cafeína e aumento da [La] sanguíneo

A presente pesquisa constatou que a [La] sanguíneo foi maior na condição em que os sujeitos estavam sob efeito da cafeína (tabela 4). Tal achado é corroborado por outros estudos científicos (BELL, JACOBS, ZAMECNIK, 1998; BLACK, WADDELL, GONGLACH, 2015; DOHERTY et. al. 2004; SIMMONDS, MINAHAN, SABAPATHY, 2010).

Utilizando um delineamento duplo-cego de medidas repetidas, pesquisadores avaliaram os efeitos da ingestão aguda de 5 mg.kg^{-1} de cafeína no tempo de exaustão durante o exercício de alta intensidade em ciclo ergômetro e concluíram que a cafeína elevou a [La] sanguíneo de modo significativo. Acredita-se que tal fato tenha ocorrido devido à maior liberação de glicose na corrente sanguínea que, associada ao exercício de alta intensidade, favorece o acúmulo de lactato (BELL, JACOBS, ZAMECNIK, 1998).

Experimento conduzido por Doherty et al. (2004) envolvendo a ingestão de 5 mg.kg^{-1} de cafeína (quantidade semelhante à utilizada em nossa amostra) por onze atletas de ciclismo, submetidos a um teste de rampa, descreveu que os sujeitos obtiveram uma diferença significativa ($p < 0,05$) de 2 mmol.l^{-1} a mais em comparação com a condição placebo.

O aumento médio significante da [La] sanguíneo decorrente da ingestão de cafeína em nossa amostra foi inferior a 1 mmol.l^{-1} (ver tabela 4), ($F=138,9$ e $P < 0,01$). Doherty et al. (2004), acredita que a glicólise anaeróbia sofre um incremento por conta da produção de adrenalina estimulada pela cafeína.

Um outro importante fator, apontado por Hulston e Jeukendrup (2008), para explicar a contribuição da cafeína para o aumento da [La] sanguíneo, seria a redução da taxa de remoção do lactato pelos tecidos não exercitados, como fígado ou outros músculos inativos, ao invés de uma ação direta dos músculos exercitados.

O experimento de Glaister et al. (2016) com 16 ciclistas treinados ($\text{VO}_{2\text{max}} = 55.6 \pm 5.0 \text{ ml.kg.min}^{-1}$) revelou que, em relação ao placebo, a cafeína (5 mg.kg^{-1}) aumentou a [La] sanguíneo em média $0,33 \pm 0,41 \text{ mmol.L}^{-1}$ (intervalo de confiança 95%: 0,11 a $0,55 \text{ mmol.L}^{-1}$) durante o exercício, independente da intensidade. Em nosso estudo, foi observado ao final do exercício sob efeito da cafeína um aumento na [La] ($P <$

0,01), o incremento médio foi equivalente a $0,72 \text{ mmol.L}^{-1}$ (intervalo de confiança 95%: $-1,41$ a $2,87 \text{ mmol.L}^{-1}$).

Segundo Davis, Green (2009), os efeitos da cafeína sobre a [La] sanguíneo em exercícios anaeróbicos de alta intensidade são controversos. De acordo com o mesmos autores, o efeito da cafeína no aumento dos níveis de lactato nem sempre parece ser mediado pela adrenalina. Embora a relação entre cafeína, SNC e a percepção da dor na fadiga não estejam bem definidos, é plausível afirmar que uma percepção mitigada da dor possa ser capaz de permitir a continuidade do exercício por uma maior duração (DOHERTY, SMITH, 2005), fator este que propicia aumento da [La]. No entanto, é importante ressaltar que em nossa pesquisa houve aumento da [La] sanguíneo mesmo diante do fato que o protocolo de carga constante tinha duração fixada em 8 minutos. Tal fato, permite pensar que diante de exercícios físicos aeróbicos de alta intensidade a [La] se eleva por motivo diferente do aumento da duração do exercício. Possivelmente, também faz parte deste processo, o fato trazido por Vergauwen et al. (1997) que descobriram o papel da adenosina na inibição da glicogenólise em fibras musculares oxidativas, como a cafeína interage com os receptores da adenosina, esta não limita a glicogenólise e diante do exercício de alta intensidade promove o aumento da [La] sanguíneo.

Cafeína x Placebo e a percepção subjetiva de esforço (PSE)

A resposta perceptiva ao exercício envolve o ato de detecção e interpretação das sensações decorrentes do exercício (NOBLE; ROBERTSON, 1996). A coleta da PSE 60 minutos, após a ingestão da cápsula (imediatamente antes do exercício de carga constante na intensidade correspondente ao $\Delta 60$), revelou, conforme a tabela 4, que não houve diferença entre as condições placebo e cafeína para este dado momento do experimento. Entretanto, ao final do exercício foram obtidos os seguintes valores de PSE para as condições placebo e cafeína respectivamente $17 \pm 1,53$ (intervalo de confiança 95%: 16 a 17,9 pontos) e $15,91 \pm 1,78$ (intervalo de confiança 95%: 14,8 a 17 pontos). A análise estatística desses valores revelou que houve diminuição significativa da PSE ($P= 0,004$) o que confirmou nossa hipótese.

Glaister e.t al. (2016) também identificaram diminuição da PSE em ciclistas treinados. Segundo eles, a cafeína reduziu a PSE em média: $0,5 \pm 0,7$ (intervalo de confiança 95%: 0,1 a 0,9 ponto). Em nossa pesquisa, a PSE apresentou uma diminuição média de 1,1 (intervalo de confiança 95%: 0,4 a 1,7 pontos) quando os sujeitos estavam sob efeito da cafeína.

Doherty e Smith (2005) identificaram que a ingestão de cafeína reduz a PSE em, aproximadamente, 6% durante exercício com carga constante. O mecanismo desta resposta pode ser explicado pela influência que a cafeína exerce em substâncias neurotransmissoras como a dopamina e serotonina que influenciam a fadiga central, pois alterações nesses neurotransmissores diminuem a vigília e aumentam a sensação de fadiga, assim, a ingestão de cafeína atua nesses neurotransmissores, alterando a percepção de esforço (DOHERTY, SMITH, 2005).

Independentemente do modo, intensidade ou duração do exercício, a cafeína promove uma alteração na resposta perceptiva dos praticantes (DOHERTY, SMITH, 2005). A cafeína parece reduzir a percepção do esforço também em mulheres e durante exercícios isométricos (MORREE, KLEIN, MARCORA, 2014). Dos estudos que não conseguiram detectar alterações estatisticamente significativas na resposta perceptiva ao exercício após a ingestão de cafeína, a maioria apresenta amostra de tamanho reduzido (DOHERTY, SMITH, 2005).

Segundo Spriet e Howlett (2000), a ingestão de cafeína pode levar a uma diminuição do limiar de ativação dos motoneurônios. Essas mudanças, por sua vez, podem reduzir a sensibilidade para o processamento da PSE e, assim, reduzindo-a devido ao maior número de unidades motoras sendo recrutadas para o trabalho muscular, o que possivelmente torna a tarefa mais fácil de ser executada (BURKE, 2008; SPRIET; HOWLETT, 2000).

Portanto, parece plausível que a cafeína estimule o SNC e atue de modo antagonico sobre os receptores de adenosina, inibindo, assim, os efeitos negativos que a adenosina promove na neurotransmissão e na estimulação e percepção da dor (DAVIS, GREEN, 2009; BLACK, WADDELL, GONGLACH, 2015). Os efeitos hipoalgésicos da cafeína resultaram na atenuação da percepção da dor e PSE. Isso poderia potencialmente ter efeitos favoráveis contra a diminuição das

taxas de disparo de unidades motoras e, possivelmente, produzir uma contração muscular mais sustentável e vigorosa. Os mecanismos exatos por trás da ação da cafeína ainda precisam ser elucidados (BARRACO, VICKI. COFFIN, HARVEY, ALTMAN, PHILLIS, 1983; DAVIS, GREEN, 2009).

Claramente esta área necessita de mais investigação, incluindo intervenção com base em programas de treinamento que investiguem a resposta da cafeína em participantes que desenvolvem distintos níveis de aptidão física ao longo do tempo. Outrossim, seria interessante verificar como a cafeína age na PSE de indivíduos com diferentes níveis de consumo habitual de cafeína.

Cafeína x Placebo no pico de torque (PT)

Diante do fato que o possível efeito ergogênico da cafeína em exercício físico de alta intensidade ainda é pouco claro, os resultados dessas investigações mostram-se controversos (DAVIS, GREEN, 2009; KEISLER, ARMSEY, 2006). A maior parte dos estudos que encontraram efeitos positivos, concluíram isso a partir da utilização de testes de desempenho baseados no tempo para exaustão. E provas “contra o relógio” (SOUZA JUNIOR et al., 2012) decidimos estudar os efeitos da administração de cafeína na fadiga muscular a partir do pico de torque (PT) obtido no cicloergômetro.

Alves et al. (1995) realizaram uma pesquisa para investigar os efeitos da ingestão de cafeína e triptofano no tempo de exaustão e em outras variáveis fisiológicas durante o exercício em cicloergômetro na intensidade de 80% do $VO_{2max.}$, em oito homens saudáveis. Para tanto, conduziram o estudo de modo duplo-cego e randomizado, no qual cada indivíduo recebeu cápsulas diferentes contendo 10 mg.kg^{-1} de cafeína, 1,2 g de triptofano, combinação dos dois e a capsula placebo com lactose, 1 h antes do exercício. Os resultados revelaram que não houve diferença significativa entre as condições com cafeína e cafeína associada ao triptofano quando comparadas com valores da condição controle na qual o placebo foi ingerido (ALVES et. al. 1995).

Em outros estudos (POWERS et al., 1983; GREER et al., 1998), assim como no nosso, a cafeína não afetou o parâmetro fisiológico de desempenho físico, o que demonstra que nem

sempre a cafeína é eficaz no processo de retardo ou atenuação da fadiga. Identificamos em nossa variável de desempenho valores de pico de torque praticamente idênticos entre as condições experimentais: placebo = $114,4 \pm 21,1$ Nm (intervalo de confiança 95% 101 a 127,8 Nm) e cafeína = $113,6 \pm 21,25$ Nm (intervalo de confiança 95% 100 a 127 Nm).

Em experimento semelhante, Bell; Jacobs; Zamecnik (1998) investigaram os efeitos da ingestão aguda de cafeína, efedrina e sua combinação no tempo de exaustão durante o exercício de alta intensidade. Utilizando um delineamento duplo-cego de medidas repetidas com o intuito de ter um resultado mais consistente no que concerne principalmente ao tempo de exaustão, oito homens exercitaram-se num cicloergometro a 85% do VO_2 max até a exaustão, 90 minutos após a ingestão de 5 mg.kg^{-1} de cafeína, 1 mg.kg^{-1} de efedrina, cafeína associada a efedrina, ou placebo. Os tempos médios até à exaustão foram $12,6 \pm 3,1$ min (placebo), $14,4 \pm 4,1$ min (cafeína), $15,0 \pm 5,7$ min (efedrina) e $17,5 \pm 5,8$ min (cafeína com efedrina). O VO_2 , a produção de dióxido de carbono, a ventilação minuto e a razão de troca respiratória foram semelhantes durante o exercício para todas as condições.

Ainda segundo os mesmos autores, os níveis de ácidos graxos livres foram significativamente majorados pela ingestão de cafeína, assim como, a concentração de glicerol. Mesmo assim, o tempo de exaustão não foi aprimorado. Em conclusão, apenas a combinação de cafeína com efedrina foi capaz de elevar significativamente o tempo de exercício até a exaustão em comparação com a condição placebo. Os autores sugeriram que o tempo de exercício reduzido (inferior a 20 min) não favoreceu a ocorrência do efeito ergogênico da cafeína na fadiga, associado a isto os mesmos acreditam que o melhor desempenho na condição em que foi ingerida cafeína com efedrina, foi atribuído ao aumento da estimulação do sistema nervoso central (BELL; JACOBS; ZAMECNIK, 1998).

Sendo assim, há evidências de que a hipótese de Costil, Dalsky, Fink (1978) que apregoa que a liberação e oxidação de ácidos graxos livres, induzida pela adrenalina poderia promover a preservação das reservas de glicogênio, pode não ser o principal mecanismo desencadeador dos efeitos da cafeína em todas as condições de exercício, afinal Bell; Jacobs; Zamecnik (1998) administraram cafeína e identificaram aumento

significativo dos níveis séricos de ácidos graxos livres e glicerol sem a presença de efeito ergogênico.

Sobre isso, foi demonstrado efeito positivo da cafeína sem que houvesse elevação da adrenalina plasmática, assim como foi registrado aumento de ácidos graxos livres sem uma correspondente elevação dos níveis de catecolaminas, tal fato leva a crer que a cafeína pode ser capaz de exercer um efeito direto sobre os adipócitos (ALTIMARI, CYRINO, ZUCAS, BURINI, 2000).

Em contraposição aos desfechos apresentados, Greer, Frades, Graham (2000) investigaram em oito homens o potencial ergogênico da cafeína (6 mg.kg^{-1}) no exercício de resistência (80% do VO_2max) até a exaustão. Ao se comparar o tempo de exaustão na condição placebo ($32,6 \pm 3,4 \text{ min}$), observou-se um aumento significativo nesta variável quando os voluntários estavam sob efeito da cafeína ($41,2 \pm 4,8 \text{ min}$) ($P < 0,05$).

Especificamente quanto à intensidade do exercício, Jacobson e Kulling (1989) sugeriram que a cafeína pode ser capaz de aumentar a tolerância ao exercício somente quando o esforço é realizado em intensidades que permitem que os indivíduos se exercitem por mais de uma hora. Normalmente, exercícios que podem ser realizados além deste período de tempo mostram intensidades abaixo do limiar anaeróbio, sugerindo que a cafeína pode modificar o desempenho apenas em exercícios abaixo desta intensidade.

Com o objetivo de melhor elucidar tais aspectos Denadai e Denadai (1998) compararam os efeitos da ingestão de cafeína no desempenho físico durante o exercício em bicicleta ergométrica em duas intensidades diferentes (10% abaixo e 10% acima do limiar anaeróbio). Para tanto, convidaram oito homens não treinados, que não consumiam cafeína habitualmente a participarem deste estudo. Após a definição das cargas de trabalho os sujeitos foram solicitados a pedalar até a exaustão em ambas as intensidades. Cada protocolo de exercício foi realizado duas vezes numa ordem aleatória duplo-cega, após a ingestão de bebida placebo ou com cafeína 60 minutos antes do exercício. Durante o exercício abaixo do limiar anaeróbio o tempo de exaustão foi significativamente maior para a condição cafeína ($46,54 \pm 8,05 \text{ min}$) quando comparado à condição placebo ($32,42 \pm 14,81 \text{ min}$). No entanto, a mesma constatação não se fez presente diante dos resultados obtidos na situação na qual os

indivíduos se exercitavam com intensidade acima do limiar, afinal o tempo de exaustão sob efeito da cafeína ($18,45 \pm 7,28$ min) foi estatisticamente o mesmo da condição placebo ($19,17 \pm 4,37$ min).

Diante do exposto, os autores concluíram que, em indivíduos não treinados, a cafeína pode melhorar o desempenho aeróbio durante o exercício prolongado realizado em intensidade abaixo do limiar anaeróbio. Tal constatação se alinha aos resultados que obtivemos com indivíduos não treinados que se exercitaram em intensidade acima do limiar anaeróbio, conforme valores de [La] sanguíneo obtidos ao final do exercício na condição placebo = $8,25 \pm 2,2$ mmol.L⁻¹ (intervalo de confiança 95% = 6,85 a 9,66 mmol.L⁻¹) e sob efeito da cafeína $8,98 \pm 2,45$ mmol.L⁻¹ (intervalo de confiança 95% = 7,42 a 10,54 mmol.L⁻¹).

Para Denadai e Denadai (1998), há um mecanismo fisiológico que pode ser capaz de explicar a presença de efeitos ergogênicos da cafeína no tempo de exaustão apenas durante o exercício realizado abaixo do limiar anaeróbio, este se refere ao fato que o exercício realizado acima do limiar anaeróbio promove o acúmulo de metabólitos, maior acidez intracelular o que pode prejudicar a atividade enzimática mitocondrial (BERTOCCI, GOLLNICK, 1985) reduzindo, assim, a produção de energia e, portanto, a duração do exercício (CARINS, et al. 1998; COSTILL, DALSKY, FINK (1978); MCARDLE, KATCH, KATCH, 2016). Associado a isso, nessas condições, a taxa de utilização de glicogênio muscular é alta, o que favorece uma elevada produção de lactato (HOGAN, et al. 1995).

Já no exercício realizado abaixo do limiar anaeróbio, não há acúmulo de lactato e a duração do exercício pode ser restringida pela depleção de glicogênio, que limita a produção de energia, uma vez que os carboidratos são necessários para o surgimento do composto bioquímico oxaloacetato, essencial para o perfeito funcionamento do ciclo de Krebs (MCARDLE, KATCH, KATCH, 2016). Apesar de haver controvérsia, Denadai e Denadai (1998) demonstrou que a cafeína pode aumentar o nível sérico de ácidos graxos livres, deste modo pode haver uma economia de glicogênio capaz de retardar o início da exaustão apenas durante o exercício realizado abaixo do limiar anaeróbio. Cruz et. al. (2015) reforçam tais achados que indicam que a preservação dos estoques de glicogênio pode ser um dos vários efeitos fisiológicos da cafeína durante o exercício

submáximo com duração em torno de 60 minutos. Entretanto, para o exercício realizado acima do limiar anaeróbio, o suprimento aumentado de ácidos graxos livres, causado pela cafeína, provavelmente, não gera qualquer benefício ergogênico, pois a utilização deste substrato energético nessa intensidade é pequena (DENADAI, DENADAI, 1998). Contudo, a análise das amostras sanguíneas realizada pelos mesmos autores revelou que a cafeína não modificou a concentração de ácidos graxos livres para qualquer intensidade de esforço utilizada. Todavia, isso não mostra necessariamente que não houve aumento na oxidação de ácidos graxos livres após a ingestão de cafeína, pois a mensuração da concentração de ácidos graxos livres, não parece fornecer evidência definitiva de seu fluxo e oxidação durante o exercício.

Outrossim, Weir, et al. (1987) testaram a hipótese de que fatores nutricionais podem influenciar a resposta da cafeína sobre os níveis sanguíneos de ácidos graxos livres. Para tanto, foram investigados em seis corredores treinados: o tempo e a extensão da resposta sérica de ácidos graxos livres a uma refeição gordurosa isolada; a concentração de ácidos graxos livres à ingestão de cafeína após uma refeição com alto teor de carboidratos; a concentração de ácidos graxos livres em resposta à cafeína em combinação com uma refeição gordurosa ou uma refeição rica em carboidratos. A resposta metabólica decorrente de 120 minutos de exercício a 75% do $VO_2\text{max}$, após a ingestão de cafeína também foi avaliada após uma dieta rica em carboidratos e ingestão de uma refeição de carboidratos. Os níveis séricos de ácidos graxos livres foram mais elevados 3 horas após a ingestão apenas de cafeína e foram menores após uma refeição gordurosa com ou sem ingestão de cafeína ($P < 0,05$). A dieta rica em carboidratos, combinada com a ingestão de uma refeição predominantemente composta por carboidratos, impediu o aumento esperado dos níveis séricos de ácidos graxos livres após a ingestão de cafeína.

Portanto, fatores nutricionais, em particular o estado dos depósitos de carboidratos corporais e a ingestão simultânea de carboidratos, influenciam a resposta da cafeína nos níveis séricos de ácidos graxos livres. Sendo assim, sugerimos que em pesquisas futuras, tais aspectos sejam levados em consideração de modo que um maior controle sobre a alimentação dos voluntários se faça presente.

Outro mecanismo que tem sido proposto para explicar o efeito ergogênico da cafeína, que também nos serviu de base para construir a hipótese de que o efeito agudo da cafeína fosse capaz de atenuar a fadiga e deste modo permitir que os voluntários fossem capazes de gerar ao final do exercício maiores PT, é o mecanismo da melhoria da função neuromuscular que sugere que a cafeína é capaz de promover uma reversão da depressão induzida pela adenosina da transmissão sináptica no córtex cerebral. Além disso, há evidência que a cafeína pode reduzir o limiar de excitação dos neurônios do SNC. Assim, é possível que esses efeitos no SNC facilitem o recrutamento de unidades motoras preservando a força e/ou diminuam a percepção de fadiga durante o exercício. Essas modificações podem ser responsáveis pela PSE mais baixa encontrada por Costill, Dalsky, Fink (1978). De acordo com Denadai e Denadai (1998), a cafeína só foi capaz de diminuir a PSE durante exercício realizado abaixo do limiar anaeróbio, assim, é possível que o aumento no tempo de exaustão tenha ocorrido devido a uma redução na PSE. Nossos resultados divergem desta teoria, pois foi registrada uma diminuição significativa da PSE na condição experimental (exercício acima do limiar anaeróbio) na qual os voluntários estavam sob efeito da cafeína e tal diminuição não gerou PT superior ao obtido na condição placebo, tal fato, permiti acreditar que alterações positivas na PSE não são determinantes para a atenuação da fadiga muscular periférica.

As evidências supramencionadas contribuem para uma indefinição em relação às teorias que visam explicar os mecanismos de ação da cafeína sobre a fadiga e o metabolismo das gorduras e carboidratos, indicando a necessidade da realização de novas pesquisas, capazes de esclarecer a ação desta substância diante de exercícios aeróbios de alta intensidade.

8 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, pode-se concluir que:

1. A ingestão de 6 mg.kg^{-1} não foi capaz de modificar a frequência cardíaca, a cinética do consumo de oxigênio e a fadiga neuromuscular após a realização do exercício aeróbio de alta intensidade realizado no cicloergômetro;
2. A relação entre a perda de força muscular e a amplitude do $\text{VO}_{2\text{CL}}$ não foi influenciada pela ingestão de cafeína;
3. O aumento na [La] após a ingestão de cafeína pode indicar alterações na produção anaeróbia de energia durante a realização do exercício aeróbio de alta intensidade;
4. A cafeína determinou uma redução significativa na PSE, entretanto, sem alteração na produção de força no *sprint* isocinético após o exercício aeróbio de alta intensidade; e
5. Finalmente, a ingestão de cafeína parece não modular a magnitude da fadiga neuromuscular determinada a partir de um *sprint* isocinético de curta duração

LIMITAÇÕES DO ESTUDO

As limitações da presente pesquisa consistem: no número reduzido de voluntários, que impossibilitou a distribuição equânime da amostra pelos níveis de classificação quanto ao grau de consumo diário de cafeína, isso seria útil para verificar a relação entre nível de consumo de cafeína e as respostas fisiológicas decorrentes de sua ingestão, ademais, seria interessante o controle por um maior espaço de tempo na rotina alimentar, principalmente no que concerne à ingestão de carboidratos. Outra limitação se refere à impossibilidade de dividir os efeitos da ingestão de cafeína da fadiga central ou periférica, visto que a medida de produção de força realizada poderia estar indicando uma fadiga neuromuscular. Entretanto, em aspectos práticos os presentes achados são relevantes para

a prescrição do treinamento físico associado à utilização da cafeína em cápsulas.

REFERÊNCIAS

- ALTIMARI, L.R.; CYRINO, E.S.; ZUCAS, S.M.; BURINI, R.C. Efeitos ergogênicos da cafeína sobre o desempenho físico. **Journal. Physical. Education.**, v.14, n.2, p.141-158, 2000.
- ALVES, M.N.; et al.. Effects of caffeine on tryptofan on rectal temperature, metabolism, total exercise time, rate of perceived exertion and heart rate. **Brazilian Journal Medical Biology Research**. Vol. 28. p. 705-709. 1995.
- AMANN, M.; PROCTOR, L.; SEBRANEK, J.; PEGELOW, D.; DEMPSEY, J. Opioid-mediated muscle afferents inhibit central motor drive and limit peripheral muscle fatigue development in humans. **Journal physiology**. V. 587, n. 1, p. 271-283, 2009.
- ASTORINO TA. Et al. Increases in cycling performance in response to caffeine ingestion are repeatable. **Nutrition Research**. Feb;32(2):78-8. 2012.
- BAILEY, S. J.; WILKERSON, D. P.; DIMENNA, F. J.; JONES, A. M. Influence of repeated sprint training on pulmonary O₂ uptake and muscle de oxygenation kinetics in humans. **Journal Applied Physiology**, v. 106, n. 6, 1875–1887, 2009.
- BAILEY SJ, ROMER LM, KELLY J, WILKERSON DP, DIMENNA FJ, JONES AM. Inspiratory muscle training enhances pulmonary O₂ uptake kinetics and high-intensity exercise tolerance in humans. **Journal Applied physiology**.v.109 p.457–468. 2010.
- BARRACO R. A., VICKI L. COFFIN I, HARVEY J. ALTMAN J. W. PHILLIS Central effects of adenosine analogs on locomotor activity in mice and antagonism of caffeine. **Brain Research**, v. 272 p. 392-395.1983.
- BARON, B.; NOAKES, T.; DEKERLE, J.; MOULLAN, F.; ROBIN, S.; MATRAN, R.; PELAYO, P. Why does exercise terminate at the maximal lactate steady state intensity? **Journal Sports Medicine**. v. 42, n. 10, p. 828-833, 2008.
- BARRY, B.; ENOKA, R. The neurobiology of muscle fatigue: 15 years later. **Integr. Comp. Biology**. v. 47, n. 4, p. 465-473, 2007.

- BARSTOW TJ, MOLÉ PA. Simulation of pulmonary O₂ uptake during exercise transients in humans. **Journal Applied Physiology**. Dec;63(6):2253–2261. 1991.
- BARSTOW TJ , et al. Influence of muscle fiber type and pedal frequency on oxygen uptake kinetics of heavy exercise. **Journal of Applied Physiology Published** 1 October Vol. 81 no. 4. 1996.
- BEAVER, W.; K, W.; B, W. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. **Journal of applied physiology**, v. 60, n. 6, p. 2020–2027, 1986.
- BEEDIE C.J., STUART E.M., COLEMAN D.A., FOAD A.J. Placebo effects of caffeine on cycling performance. **Medicine Science in Sports Exercise**. 2159-2164. 2006.
- BELL, D.G.; JACOBS, I.; ZAMECNIK, J. Effects of caffeine, ephedrine and their combination on time to exhaustion during high-intensity exercise. **European Journal Applied Physiology**. Vol. 77. 1998. p. 427-433.
- BELL C., KOWALCHUK J. M., PATERSON D. H., SCHEUERMANN B. W., CUNNINGHAM D. A. The effects of caffeine on the kinetics of o₂ uptake, co₂ production and expiratory ventilation in humans during the on transient of moderate and heavy intensity exercise. **Experimental hystology**, 84, 761—774. 1999.
- BERTOCCI LA, GOLLNICK PD. pH effect on mitochondria and individual enzyme function. **Medicine Science Sports Exercise**.;17:244. 1985.
- BLACK C.D, WADDELL D.E, GONGLACH A.R. Caffeine's Ergogenic Effects on Cycling: Neuromuscular and Perceptual Factors. **Medicine Science Sports Exercise**. Jun; 47 (6): 1145-1158. 2015.
- BORG G.A. BORG'S. Perceived Exertion and Pain Scales. Champaign, IL: **Human Kinetics**, p. 39-43. 2000.
- BUCCI, L.R. Selected herbals and human exercise performance. **American Journal Nutrition.**, v.72, n.2(supl), p.624-636, 2000.
- BURNLEY, M.; JONES, A. M.; CARTER, H.; DOUST, J. H. Effects of prior heavy exercise on phase II pulmonary oxygen

uptake kinetics during heavy exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.89, p.1387-1396, 2000.

BURNLEY M, DOUST JH, JONES AM. Effects of prior warm-up regime on severe-intensity cycling performance. **Medicine Science Sports Exercise**. V.37(5) p.838–845. 2005.

BURNLEY, M.; VANHATALO, A.; JONES, A.M. Distinct profiles of neuromuscular fatigue during muscle contractions below and above the 72 critical torque in humans. **Journal of Applied Physiology**, v.113, p.215-223, 2012.

BURKE, L.M. Caffeine and sports performance. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 33, No. 6 : pp. 1319-1334. 2008.

BOYETT JC, GIERSCH GEW, WOMACK CJ, et al. Time of Day and Training Status Both Impact the Efficacy of Caffeine for Short Duration Cycling Performance. **Nutrients**. 2016;8(10):639. doi:10.3390/nu8100639.

COSTILL DL, DALSKY GP, FINK WJ. Effects of caffeine ingestion on metabolism and exercise performance. **Medicine Science in Sports**. V. 10(3):155-8. 1978.

CAPUTO, F.; DENADAI, B. S. The highest intensity and the shortest duration permitting attainment of maximal oxygen uptake during cycling: effects of different methods and aerobic fitness level. **European Journal Applied Physiology**, v. 103, n. 1, p. 47-57, 2008.

CARINS SP, et al. Role of extracellular [Ca²⁺] in fatigue of isolated mammalian skeletal muscle. **Journal Applied Physiology**. 84:1395. 1998.

CARITÁ R. A. C, GRECO C. C; PESSÔA FILHO D. M.. Cinética do VO₂ durante o exercício realizado na potência crítica. em ciclistas e indivíduos não-treinados no ciclismo. **Motriz**, Rio Claro, v.19 n.2, p.412-422, abr./jun. 2013.

CARMIGNOTO. G. Reciprocal communication system between astrocytes and neurons. **Progress in Neurobiology**, 62: 561-581, 2000.

CARPES, F. P. Ativação muscular durante a pedalada em diferentes posições do selim. **Revista Brasileira de**

Cineantropometria e Desempenho Humano, v. 10, n. 2, p. 161-169, 2006.

CARTER H., et al. Oxygen uptake kinetics in treadmill running and cycle ergometry: a comparison. **Journal Applied Physiology**. 89: 899-907, 2000.

CARTER, H.; GRICE, Y.; DEKERLE, J.; BRICKLEY, G.; HAMMOND, A. J. Effect of prior exercise above and below critical power on exercise to exhaustion. **Medicine Science Sports Exercise**, Madison, n. 37, p. 775-81, 2005.

CANNON D T., WHITE A. C., MELINA F. A., KOLKHORST F. W. and ROSSITER H. B. Skeletal muscle fatigue precedes the slow component of oxygen uptake kinetics during exercise in humans. **Journal Physiology**. 589.3 p. 727–739. 2011.

CLARK, V. R., HOPKINS W. G., HAWLEY J. A., BURKE L. M.. Placebo effect of carbohydrate feeding during a 4-km cycling time trial. **Medicine Science in Sports Exercise**. 32:1642–1647, 2000.

CLAUSEN T. Long and short-term regulation of Na⁺ K⁺ pump in skeletal muscle. **News Physiology Science**. V. 11, p. 24-30. 1996.

COLLOMP, K., AHMAIDI, S., CHATARD, J. C., AUDRAN, M., PREFAUT, C. Benefits of caffeine ingestion on sprint performance in trained and untrained swimmers. **European Journal of Applied Physiology**. 64, p. 377-380. 1992.

CRUZ R.S.O., et al.. Caffeine Affects Time to Exhaustion and Substrate Oxidation during Cycling at Maximal Lactate Steady State. **Nutrients**. V. 7, p. 5254-5264. 2015.

COSTILL, D.L.; DALSKY, G.; FINK, W. Effects of caffeine ingestion on metabolism and exercise performance. **Medicine & Science in Sports and Exercise**. v.10, n.3, p.155-8, 1978.

DAVIS J.M, BAILEY SP. Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. **Medicine Science Sports Exercise**; 29:45-57. 1997.

DAVIS J.K., GREEN JM. Caffeine and Anaerobic Performance Ergogenic Value and Mechanisms of Action. **Medicine Science. Sports Exercise**. Vol.39; 39, n 10 p. 813-32. 2009.

DEL COSO J, et al. Caffeine effects on short-term performance during prolonged exercise in the heat. **Medicine Science Sports Exercise**;40:744. 2008.

DENADAI, B.S.; DENADAI, M.L. Effects of caffeine on time to exhaustion in exercise performance below and above the anaerobic threshold. **Journal of Medical Biology Research**. v.31, n.4, p.581-5. 1998.

DENADAI, B. S. Avaliação aeróbia: determinação indireta da resposta do lactato sanguíneo. Rio Claro. **Motriz**. 2000.

DEMURA S., YAMADA T., TERASAWA N. Effect of coffee ingestion on physiological responses and ratings of perceived exertion during submaximal endurance exercise. **Perceptual and Motor Skills**. P. 1109-1116. 2007.

DENADAI, B. S.; CAPUTO, F. Efeitos do treinamento sobre a cinética de consumo de oxigênio durante o exercício realizado nos diferentes domínios de intensidade esforço. **Motriz**, v. 9, n. 1, (Supl.), p. S1 – S7, 2003.

DE POLI R.B., MIYAGI W.E., NAKAMURA F.Y., ZAGATTO A.M. Caffeine Improved time to exhaustion, but did not change alternative maximal accumulated oxygen deficit estimated during a single supramaximal running bout. **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism**. 2016.

DOHERTY M, et al. Caffeine is ergogenic after supplementation of oral creatine monohydrate. **Medicine Science Sports Exercise**;34:1785. 2002.

DOHERTY, M; SMITH, P.M.; HUGHES, M.G.; DAVISON, R.C.R. Caffeine lowers perceptual response and increases power output during high-intensity cycling. **Journal of Sports Sciences**, v.22, p.637-643, 2004.

DOHERTY M, SMITH PM. Effects of caffeine ingestion on rating of perceived exertion during and after exercise: a meta-analysis. **Scandinavian Journal Medicine Science Sports** 15: 69 –78, 2005.

ENOKA, R.; DUCHATEAU, J. Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. **Journal Physiology**. v. 586, n. 1, p. 11–23, 2008.

- EKBLOM, B.; GOLDBARG, A.N. The influence of physical training and other factors on the subjective rating of perceived exertion. **Acta Physiologica Scandinavica**. 383: 399, 1971.-
- ESTON, R. Use of ratings of perceived exertion in sports. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 7, p. 175-182, 2012.
- FAISAL A., BEAVERS K. R., ROBERTSON A. D., HUGHSON R. L. Prior moderate and heavy exercise accelerate oxygen uptake and cardiac output kinetics in endurance athletes. **Journal of Applied Physiology**. Vol. 106 n. 5, 1553-1563. 2009.
- FRANÇA F.V. et al. Efeito da suplementação aguda com cafeína na resposta bioquímica durante exercício de endurance em ratos. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte** – Vol. 21, N. 5. 2015.
- FREDHOLM, B.B. Adenosine, adenosine receptors and the actions of caffeine. **Pharmacology e Toxicology**, v.76, p. 93-101, 1995.
- FUKUOKA Y, GRASSI B, CONTI M, GUIDUCCI D, SUTTI M, MARCONI C, CERRETELLI P. Early effects of exercise training on on- and off-kinetics in 50-year-old subjects. **Archives - European Journal Physiology**. 443:690–697, 2002.
- GAESSER, G. A.; RICH, R. G. Influence of caffeine on blood lactate response during incremental exercise. **International journal of sports medicine**, v. 6 p. 207-11, ago. 1985.
- GAESSER, G. A.; POOLE, D. C. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. **Exercise and Sports Science Reviews**, v.24, p.35-71, 1996.
- GANIO M.S., KLAU J.F., CASA D.J., ARMSTRONG L.E., MARESH C.M. Effect of caffeine on sport-specific endurance performance: a systematic review. **Journal Strength Conditioning Research**. P. 315-324. 2009.
- GLAISTER M. et al. The Effects of Caffeine Supplementation on Physiological Responses to Submaximal Exercise in Endurance-Trained Men. **Plos one**. V 11 (8), 2016.

GOLDSTEIN, E.R.; et al. International society of sports nutrition position stand: caffeine and performance. **Journal of International Society of Sports Nutrition**, v.27, p.5, 2010.

GRAHAM T.E; SPRIET L.L. Metabolic, catecholamine, and exercise performance responses to various doses of caffeine. **Journal Applied Physiology** .Mar;78(3):867-74. 1995.

GRAHAM, T.E. Caffeine and exercise: metabolism, endurance and performance. **Sports Medicine**., v.31, n.11, p.785-807, 2001.

GRAHAM T.E, BATTRAM D.S., DELA F, EL-SOHEMY A., THONG F.S. Does caffeine alter muscle carbohydrate and fat metabolism during exercise? **Applied Physiology Nutrition Metabolism**. V;33(6): p.1311–1318. 2008.

GRASSI, B.; POGLIAGHI, S.; RAMPICHINI, S.; QUARESIMA, V.; FERRARI, M.; MARCONI, C.; CERRETELLI, P. Muscle oxygenation and pulmonary gas exchange kinetics during cycling exercise on-transitions in humans. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.95, p.149-158, 2003.

GRASSI B. Oxygen uptake kinetics: Why are they so slow? And what do they tell us? **Journal of physiology and pharmacology**. V: 57, Suppl 10, 53–65. 2001.

GREER F., FRADES D., GRAHAM T.E. Comparison of caffeine and theophylline ingestion: exercise metabolism and endurance. **Journal Applied Physiology**. v 89 (5): p.1837-1844. 2000.

GREGOR, R. J. Biomechanics of cycling. In: GERRET, W. E.; KIRKENDAL, D. T. **Exercise and sport science**. Philadelphia – EUA: Lippincott Williams & Wilkins, 2000.

GUGLIELMO, L. G. A. **Efeitos de diferentes tipos de treinamento sobre a intensidade e o tempo de exaustão a 100 % do VO₂max**. 2005. Tese (Doutorado em Ciências da Motricidade) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Universidade do Estado de São Paulo, São Paulo.

HAWLEY, J.; REILLY, A. Fatigue revisited. **Journal Sports Science**. V. 15, n. 3, p. 245-246, 1997.

- HILL, D. W.; POOLE, D. C.; SMITH, J. C. The relationship between power and the time to achieve VO₂max. **Medicine Science and Sports Exercise**, v. 34, n. 4, p. 709–714, 2002.
- HOGAN M.C, et al. Increased [lactate] in working dog muscle reduces tension development independent of pH. **Medicine Science Sports Exercise**. 1995.
- HULSTON, C. J.; JEUKENDRUP, A.E. Substrate Metabolism and Exercise Performance with Caffeine and Carbohydrate Intake. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.40, n.12, p.2096–2104, 2008.
- JACOBSON B.H, KULLING F.A. Saúde e efeitos ergogênicos da cafeína. **British Journal of Sports Medicine**, 23: 34-40. 1989.
- JONES, A. M.; GRASSI, B.; CHRISTENSEN, P. M.; KRUSTRUP, P.; BANGSBO, J.; POOLE, D. C.. Slow Component of VO₂ Kinetics: Mechanistic Bases and Practical Applications. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. Hagerstown, v.43, n.11, p.2046-2062, 2011.
- JONES, A.M.; POOLE, D.C. Oxygen uptake dynamics: from muscle to mouth – an introduction to the symposium. **Medicine Science Sports Exercise**, Madson, v. 37, p. 1542-50, 2005.
- JORDAN J. B., FARLEY R. CAPUTO J.L.. Caffeine and Sprint Performance in Habitual and Caffeine Naive Participants. **International Journal Exercise Science** v. 5, p: 50-59, 2012.
- KALMAR, J. M. The Influence of Caffeine on Voluntary Muscle Activation. **Medicine Science Sports Exercise**., Vol. 37, N. 12, pp. 2113–2119, 2005.
- KANNUS, P. Isokinetic evaluation of muscular performance: implications for muscle testing and rehabilitation. **International Journal Exercise Science**.; 15: S11-S18. 1994.
- KEISLER B. D., ARMSEY T.D. Caffeine as an ergogenic aid. **Current Sports Medicine Report**. 215-219. 2006.
- KORZENIEWSKI, B.; ZOLADZ, J. A. Possible mechanisms underlying slow component of Vo₂ on-kinetics in skeletal muscle. **Journal of Applied Physiology**, v. 118, n. 10, p. 1240-1249, 2015.

KROGH A.; LINDHARD J. The regulation of respiration and circulation during the initial stages of muscular work. **Journal Physiology**. Oct 17; 47(1-2): 112–136. 1913.

LAMARRA, N.; WHIPP, B. J.; WARD, S. A.; WASSERMAN, K. Effect of inter breath fluctuations on characterizing exercise gas exchange kinetics. **Journal Applied Physiology**, v. 62, p. 2003–2012, 1987.

LAURENCE G, WALLMAN K, GUELFY K. Effects of caffeine on time trial performance in sedentary men. **Journal Sports Science**. V.30(12):1235-1240. 2012.

LEIRDAL, S.; ETTEMA, G. The relationship between cadence, pedalling technique and gross efficiency in cycling. **European Journal of Applied Physiology**. v. 111, n. 12, p. 2885-2893, 2011.

LINDINGER M.I, GRAHAM T.E, SPRIET L.L. Caffeine attenuates the exercise-induced increase in plasma [K⁺] in humans. **Journal Applied Physiology**. V. 74, p. 1149-1155. 1993.

MCARDLE, W. D. KATCH, KATCH. Fisiologia do Exercício: energia, nutrição e desempenho humano. 7^a ed. Rio de Janeiro: **Guanabara Koogan**, 2011.

MENDEZ-VILLANUEVA A., BISHOP D., HAMER P. Reproducibility of a 6-s maximal cycling sprint test. **Journal Science Medicine in Sport**. 323-6. 2007.

MEYERS B.M, CAFARELLI E. Caffeine increases time to fatigue by maintaining force and not by altering firing rates during submaximal isometric contractions. **Journal of Applied Physiology**. V99 (3) p. 1056–1063. 2005.

MOHR, M.; NIELSEN, J.J.; BANGSBO, J. Caffeine intake improves intense intermittent exercise performance and reduces muscle interstitial potassium accumulation. **Journal of Applied Physiology**, v.111, p.1372–1379, 2011.

MORO V. L. Avaliação da técnica de pedalada de ciclistas em diferentes alturas do selim. **Dissertação de mestrado**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2012.

MORREE H. M, KLEIN C., MARCORA S. M. Cortical substrates of the effects of caffeine and time-on-task on perception of effort. **Journal Applied Physiology** 117: 1514–1523, 2014.

MOTL, R.W., et al. Effect of caffeine on leg muscle pain during cycling exercise among females. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.38, 598–604. 2006.

MURGATROYD, S. R. et al. Pulmonary O₂ uptake kinetics as a determinant of high-intensity exercise tolerance in humans. **Journal of applied physiology** (Bethesda, Md. : 1985), v. 110, n. 6, p. 1598–1606, 2011.

NEHLIG A, DAVAL J.L, DEBRY G. Caffeine and central nervous system: mechanisms of action, biochemical, metabolic and psycho-stimulant effects. **Brain Research**. 1992; 17:139-70.

NOBLE, B. J.; ROBERTSON, R. J. Perceived exertion Champaign: **Human Kinetics**, 1996.

PATAKY, M.W.; WOMACK, C.J.; SAUNDERS, M.J.; GOFFE, J.L.; D'LUGOS, A.C.; EL-SOHEMY, A.; LUDEN, N.D. Caffeine and 3-km cycling performance: Effects of mouth rinsing, genotype, and time of day. **Scandinavian Journal Medicine Science Sports**. 26, 613–619. 2016.

PETROSKI, E. L. (Org). Antropometria: Técnicas e Padronizações. 2ª ed. Porto Alegre: **Palotti**, 2003.

POOLE D.C. Role of exercising muscle in slow component of VO₂. **Medicine Science Sports Exercise**. V. 26, p. 1335–1340.1994.

POWERS, S. K., DODD, S., WOODYARD, J. & MAGNUM, M.. Caffeine alters ventilatory and gas exchange kinetics during exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise** 18, 101-106. 1986.

ROSSATO, M. A técnica de pedalada de ciclistas: alterações decorrentes do uso de diferentes cadências e intensidades. **Dissertação de Mestrado**. p. 99, Universidade Federal de Santa Catarina. 2007.

SAHLIN, K.; TONKONOGLI, M.; SODERLUND, K. Energy supply and muscle fatigue in humans. **Acta Scandinave Physiology**. v. 162, p. 261-266, 1998.

SANTALLA A., LUCÍA A., PÉREZ M. Caffeine Ingestion Attenuates the VO₂ Slow Component during Intense Exercise. **The Japanese Journal of Physiology**. v. 51, P. 761-764. 2001.

SANTANA M. G. Comparison between different methods of analysis of slow component of oxygen uptake: a view in severe exercise domain. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**. Vol. 13, Nº 4 – Jul/Ago, 2007.

SANTOS, A. B.; BONA, R. L.; CASTRO, F.S.; TARTARUGA, L. P. Aspectos biomecânicos e fisiológicos da fadiga na locomoção humana: conceitos, mecanismos e aplicações. **Ciência e movimento**. V. 12, n. 23, 2010.

SILVA, S. G.; MINATTO, G.; FARES, D.; SANTOS, S. G. Caracterização da pesquisa (tipos de pesquisa). In: SANTOS, S. G. (Org.) Métodos e técnicas de pesquisa quantitativa aplicada à Educação Física. 1ª ed. Florianópolis: **Tribo da ilha**, p. 67-74, 2011.

SILVEIRA, L.R., ALVES, A.A., DENADAI, B.S. Efeito da lipólise induzida pela cafeína na performance e no metabolismo de glicose durante o exercício intermitente. **Revista brasileira de Ciência e Movimento**. V.12, n.3, p. 21-26. 2004.

SIMONS M.J. CLARE L. M. SURENDRAN S. Caffeine Improves supramaximal cycling but not the rate of anaerobic energy release. **European Journal Applied Physiology**. 109:287–295. 2010.

SPRIET, L. et al. Caffeine ingestion and muscle metabolism during prolonged exercise in humans. **American Journal of Physiology**. 262, P.891—898. 1992.

SPRIET L.L., HOWLETT R.A. Caffeine. In: Maughan RJ, ed. Nutrition in sport. Oxford: Blackwell Scientific, p:379–392. 2000.

SOUZA JUNIOR, T. P.; CAPITANI, C. D.; LOTURCO FILHO, I.; VIVEIROS, L.; AOKI, M. S. A cafeína potencializa o desempenho em atividades de endurance? **Brazilian Journal of Biomotricity**. v. 6, n. 3, p. 144-152, 2012.

ST CLAIR GIBSON A. et al. The conscious perception of the sensation of fatigue. **Sports Medicine**.;33(3):167-76. 2003.

SURIANO, R.; VERCRUYSSSEN, F.; BISHOP, D.; BRISSWALTER, J. Variable power output during cycling improves subsequent treadmill run time to exhaustion. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 10, n. 4, p. 244-251, 2007.

THOMAS J.R. NELSON J. K. SILVERMAN S.J. Métodos de pesquisa em atividade física. 6^a ed. Porto Alegre: **Artmed**, 2012.

VERGAUWEN L., RICHTER E., HESPEL P. Adenosine exerts a glycogen sparing action in contracting rat skeletal muscle. **American Journal Physiology Endocrinol Metabolism**. v. 272: p.762–768, 1997.

VOLLESTAD, N. Measurement of human muscle fatigue. **Journal Neuroscience**. v. 74, p. 219–227, 1997.

WARREN G.L., PARK N.D., MARESCA R.D., MCKIBANS K.I., MILLARD-STAFFORD M.L. Effect of caffeine ingestion on muscular strength and endurance: a meta-analysis. **Medicine Science Sports Exercise**. V. 42, N: 7, p. 1375–1387, 2010.

WEIR J, NOAKES T.D , MYBURGH K., ADAMS B. A high carbohydrate diet negates the metabolic effects of caffeine during exercise. **Medicine Science Sports Exercise**. 19:100. 1987.

WHIPP, B. J.; ROSSITER, H. B. The kinetics of oxygen uptake: physiological inferences from the parameters. In: JONES A. M.; POOLE, D. C. (Eds.) **Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medicine**. Oxon, UK: Routledge, p. 62–94, 2005.

WOMACK CJ, DAVIS SE, BLUMER JL, BARRETT E, WELTMAN AL, AND GAESSER GA. Slow component of O₂ uptake during heavy exercise: adaptation to endurance training. **Journal Applied Physiology**. 79: 838-845, 1995.

WOMACK CJ et al. The influence of a CYP1A2 polymorphism on the ergogenic effects of caffeine. **Journal International Society Sports Nutrition**. V 9 (1): 7. 2012.

XU, F.; RHODES, E.C. Oxygen uptake kinetics during exercise. **Sports medicine**. V. 27, n.5, p. 313-327. 1999.

YANG A, PALMER A.A, DE WIT H. Genetics of caffeine consumption and responses to caffeine. **Psychopharmacology (Berl)**: 211 (3): 245–257. 2010.

APÉNDICE

APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO DE CONSUMO HABITUAL DE CAFEÍNA



Universidade Federal de Santa Catarina
Centro de Desportos
Programa de Pós-Graduação em Educação Física



QUESTIONÁRIO DE CONSUMO HABITUAL DE CAFEÍNA

Dados de Identificação

Nome: _____ Estatura: _____ Peso: _____
Sexo: _____ Data de nascimento: / / _____ Idade: _____

Desejamos com este questionário saber qual seu consumo habitual de cafeína em uma semana comum a partir da ingestão dos alimentos listados abaixo e suas respectivas porções. Para melhor entendimento deste instrumento de pesquisa, por favor leia atentamente todo o questionário antes de respondê-lo. É válido ressaltar que o copo de referência para as porções possui a capacidade de 200ml, e a xícara 240ml.



Colher de Chá



Colher de Sopa

Você toma algum medicamento de uso contínuo atualmente?

Sim Não. Se sim, escreva qual e a quantidade:

Você toma algum suplemento, pré treino, termogênico que contém cafeína?

Sim Não. Se sim, escreva qual e a quantidade:

Existe mais algum produto não citado aqui que contém cafeína e que você “tome” com frequência?

Sim Não. Se sim, escreva qual e a quantidade:

Café Instantâneo	
Turnos do Dia	Quantidade consumida
Matutino	<input type="checkbox"/> 1 Xicara <input type="checkbox"/> 1 Xicara e meia <input type="checkbox"/> 2 Xicaras <input type="checkbox"/> 3 Xicaras <input type="checkbox"/> Não consome
Vespertino	<input type="checkbox"/> 1 Xicara <input type="checkbox"/> 1 Xicara e meia <input type="checkbox"/> 2 Xicaras <input type="checkbox"/> 3 Xicaras <input type="checkbox"/> Não consome
Noturno	<input type="checkbox"/> 1 Xicara <input type="checkbox"/> 1 Xicara e meia <input type="checkbox"/> 2 Xicaras <input type="checkbox"/> 3 Xicaras <input type="checkbox"/> Não consome
Bebe café com leite? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não. Se sim qual a quantidade aproximada:	
Caso as opções acima não indiquem seu consumo, escreva aqui a quantidade:	
Café feito em cafeteira	
Turnos do Dia	Quantidade consumida
Matutino	<input type="checkbox"/> 1 Xicara <input type="checkbox"/> 1 Xicara e meia <input type="checkbox"/> 2 Xicaras <input type="checkbox"/> 3 Xicaras <input type="checkbox"/> Não consome
Vespertino	<input type="checkbox"/> 1 Xicara <input type="checkbox"/> 1 Xicara e meia <input type="checkbox"/> 2 Xicaras <input type="checkbox"/> 3 Xicaras <input type="checkbox"/> Não consome
Noturno	<input type="checkbox"/> 1 Xicara <input type="checkbox"/> 1 Xicara e meia <input type="checkbox"/> 2 Xicaras <input type="checkbox"/> 3 Xicaras <input type="checkbox"/> Não consome
Bebe café com leite? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não. Se sim qual a quantidade aproximada:	
Caso as opções acima não indiquem seu consumo, escreva aqui a quantidade:	
Café feito a partir do Pó (café passado)	
Turnos do Dia	Quantidade consumida
Matutino	<input type="checkbox"/> 1 Xicara <input type="checkbox"/> 1 Xicara e meia <input type="checkbox"/> 2 Xicaras <input type="checkbox"/> 3 Xicaras <input type="checkbox"/> Não consome
Vespertino	<input type="checkbox"/> 1 Xicara <input type="checkbox"/> 1 Xicara e meia <input type="checkbox"/> 2 Xicaras <input type="checkbox"/> 3 Xicaras <input type="checkbox"/> Não consome
Noturno	<input type="checkbox"/> 1 Xicara <input type="checkbox"/> 1 Xicara e meia <input type="checkbox"/> 2 Xicaras <input type="checkbox"/> 3 Xicaras <input type="checkbox"/> Não consome
Bebe café com leite? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não. Se sim qual a quantidade aproximada:	
Caso as opções acima não indiquem seu consumo, escreva aqui a quantidade:	

Café Descafeinado	
Turnos do Dia	Quantidade consumida
Matutino	<input type="checkbox"/> 1 Xícara <input type="checkbox"/> 1 Xícara e meia <input type="checkbox"/> 2 Xícaras <input type="checkbox"/> 3 Xícaras <input type="checkbox"/> Não consome
Vespertino	<input type="checkbox"/> 1 Xícara <input type="checkbox"/> 1 Xícara e meia <input type="checkbox"/> 2 Xícaras <input type="checkbox"/> 3 Xícaras <input type="checkbox"/> Não consome
Noturno	<input type="checkbox"/> 1 Xícara <input type="checkbox"/> 1 Xícara e meia <input type="checkbox"/> 2 Xícaras <input type="checkbox"/> 3 Xícaras <input type="checkbox"/> Não consome
Bebe café com leite? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não. Se sim qual a quantidade aproximada:	
Caso as opções acima não indiquem seu consumo, escreva aqui a quantidade:	
Chá Preto	
Turnos do Dia	Quantidade consumida
Matutino	<input type="checkbox"/> 1 Xícara <input type="checkbox"/> 1 Xícara e meia <input type="checkbox"/> 2 Xícaras <input type="checkbox"/> 3 Xícaras <input type="checkbox"/> Não consome
Vespertino	<input type="checkbox"/> 1 Xícara <input type="checkbox"/> 1 Xícara e meia <input type="checkbox"/> 2 Xícaras <input type="checkbox"/> 3 Xícaras <input type="checkbox"/> Não consome
Noturno	<input type="checkbox"/> 1 Xícara <input type="checkbox"/> 1 Xícara e meia <input type="checkbox"/> 2 Xícaras <input type="checkbox"/> 3 Xícaras <input type="checkbox"/> Não consome
Caso as opções acima não indiquem seu consumo, escreva aqui a quantidade:	
Chá Erva Mate	
Turnos do Dia	Quantidade consumida
Matutino	<input type="checkbox"/> 1 Xícara <input type="checkbox"/> 1 Xícara e meia <input type="checkbox"/> 2 Xícaras <input type="checkbox"/> 3 Xícaras <input type="checkbox"/> Não consome
Vespertino	<input type="checkbox"/> 1 Xícara <input type="checkbox"/> 1 Xícara e meia <input type="checkbox"/> 2 Xícaras <input type="checkbox"/> 3 Xícaras <input type="checkbox"/> Não consome
Noturno	<input type="checkbox"/> 1 Xícara <input type="checkbox"/> 1 Xícara e meia <input type="checkbox"/> 2 Xícaras <input type="checkbox"/> 3 Xícaras <input type="checkbox"/> Não consome
Caso as opções acima não indiquem seu consumo, escreva aqui a quantidade:	
Chá Gelado (Ice Tea, Nestea)	
Turnos do Dia	Quantidade consumida
Matutino	<input type="checkbox"/> 1 Copo <input type="checkbox"/> 1 Copo e meio <input type="checkbox"/> 2 Copos <input type="checkbox"/> 3 Copos <input type="checkbox"/> Não consome
Vespertino	<input type="checkbox"/> 1 Copo <input type="checkbox"/> 1 Copo e meio <input type="checkbox"/> 2 Copos <input type="checkbox"/> 3 Copos <input type="checkbox"/> Não consome
Noturno	<input type="checkbox"/> 1 Copo <input type="checkbox"/> 1 Copo e meio <input type="checkbox"/> 2 Copos <input type="checkbox"/> 3 Copos <input type="checkbox"/> Não consome
Caso as opções acima não indiquem seu consumo, escreva aqui a quantidade:	
Coca-cola	
Turnos do Dia	Quantidade consumida
Matutino	<input type="checkbox"/> 1 Copo <input type="checkbox"/> 1 Copo e meio <input type="checkbox"/> 2 Copos <input type="checkbox"/> 3 Copos <input type="checkbox"/> Não consome
Vespertino	<input type="checkbox"/> 1 Copo <input type="checkbox"/> 1 Copo e meio <input type="checkbox"/> 2 Copos <input type="checkbox"/> 3 Copos <input type="checkbox"/> Não consome
Noturno	<input type="checkbox"/> 1 Copo <input type="checkbox"/> 1 Copo e meio <input type="checkbox"/> 2 Copos <input type="checkbox"/> 3 Copos <input type="checkbox"/> Não consome
Caso as opções acima não indiquem seu consumo, escreva aqui a quantidade:	
Pespsi-cola	
Turnos do Dia	Quantidade consumida
Matutino	<input type="checkbox"/> 1 Copo <input type="checkbox"/> 1 Copo e meio <input type="checkbox"/> 2 Copos <input type="checkbox"/> 3 Copos <input type="checkbox"/> Não consome
Vespertino	<input type="checkbox"/> 1 Copo <input type="checkbox"/> 1 Copo e meio <input type="checkbox"/> 2 Copos <input type="checkbox"/> 3 Copos <input type="checkbox"/> Não consome
Noturno	<input type="checkbox"/> 1 Copo <input type="checkbox"/> 1 Copo e meio <input type="checkbox"/> 2 Copos <input type="checkbox"/> 3 Copos <input type="checkbox"/> Não consome
Caso as opções acima não indiquem seu consumo, escreva aqui a quantidade:	
Bebida energética (Redbull, TNT, Burn, etc)	
Turnos do Dia	Quantidade consumida
Matutino	<input type="checkbox"/> 1 Lata (250ml) <input type="checkbox"/> 2 Latas <input type="checkbox"/> 3 Latas <input type="checkbox"/> Não consome
Vespertino	<input type="checkbox"/> 1 Lata (250ml) <input type="checkbox"/> 2 Latas <input type="checkbox"/> 3 Latas <input type="checkbox"/> Não consome
Noturno	<input type="checkbox"/> 1 Lata (250ml) <input type="checkbox"/> 2 Latas <input type="checkbox"/> 3 Latas <input type="checkbox"/> Não consome
Caso as opções acima não indiquem seu consumo, escreva aqui a quantidade:	

Bebida energética (Redbull, TNT, Burn, etc)				
Turnos do Dia	Quantidade consumida			
Matutino	<input type="checkbox"/> 1 Lata (250ml)	<input type="checkbox"/> 2 Latas	<input type="checkbox"/> 3 Latas	<input type="checkbox"/> Não consome
Vespertino	<input type="checkbox"/> 1 Lata (250ml)	<input type="checkbox"/> 2 Latas	<input type="checkbox"/> 3 Latas	<input type="checkbox"/> Não consome
Noturno	<input type="checkbox"/> 1 Lata (250ml)	<input type="checkbox"/> 2 Latas	<input type="checkbox"/> 3 Latas	<input type="checkbox"/> Não consome
Caso as opções acima não indiquem seu consumo, escreva aqui a quantidade:				
Chocolate Amargo				
Turnos do Dia	Quantidade consumida			
Matutino	<input type="checkbox"/> 1 Barra (30g)	<input type="checkbox"/> 2 Barras	<input type="checkbox"/> 3 Barras	<input type="checkbox"/> Não consome
Vespertino	<input type="checkbox"/> 1 Barra (30g)	<input type="checkbox"/> 2 Barras	<input type="checkbox"/> 3 Barras	<input type="checkbox"/> Não consome
Noturno	<input type="checkbox"/> 1 Barra (30g)	<input type="checkbox"/> 2 Barras	<input type="checkbox"/> 3 Barras	<input type="checkbox"/> Não consome
Caso as opções acima não indiquem seu consumo, escreva aqui a quantidade:				
Chocolate ao Leite				
Turnos do Dia	Quantidade consumida			
Matutino	<input type="checkbox"/> 1 Barra (30g)	<input type="checkbox"/> 2 Barras	<input type="checkbox"/> 3 Barras	<input type="checkbox"/> Não consome
Vespertino	<input type="checkbox"/> 1 Barra (30g)	<input type="checkbox"/> 2 Barras	<input type="checkbox"/> 3 Barras	<input type="checkbox"/> Não consome
Noturno	<input type="checkbox"/> 1 Barra (30g)	<input type="checkbox"/> 2 Barras	<input type="checkbox"/> 3 Barras	<input type="checkbox"/> Não consome
Caso as opções acima não indiquem seu consumo, escreva aqui a quantidade:				
Chimarrão				
Turnos do Dia	Quantidade consumida			
Matutino	<input type="checkbox"/> 1 Porção (150ml)	<input type="checkbox"/> 2 Porções	<input type="checkbox"/> 3 Porções	<input type="checkbox"/> Não consome
Vespertino	<input type="checkbox"/> 1 Porção (150ml)	<input type="checkbox"/> 2 Porções	<input type="checkbox"/> 3 Porções	<input type="checkbox"/> Não consome
Noturno	<input type="checkbox"/> 1 Porção (150ml)	<input type="checkbox"/> 2 Porções	<input type="checkbox"/> 3 Porções	<input type="checkbox"/> Não consome
Caso as opções acima não indiquem seu consumo, escreva aqui a quantidade:				

A quanto tempo você está com a rotina de consumo de alimentos que contém cafeína descrita acima?

APÊNDICE B - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE DESPORTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA
ÁREA DE BIODINÂMICA DO DESEMPENHO HUMANO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

De acordo com a resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde, todas as pesquisas conduzidas com seres humanos necessitam do termo de Consentimento Livre e Esclarecido, devendo o participante estar ciente dos objetivos da pesquisa. Estamos em consonância com a resolução supracitada conduzindo o estudo intitulado: **Efeito agudo da ingestão de cafeína na cinética do consumo de oxigênio e na fadiga muscular**, que tem como objetivo analisar o efeito agudo da ingestão de cafeína no comportamento da cinética do consumo de oxigênio e na fadiga muscular em indivíduos fisicamente ativos.

O projeto envolve o professor doutor Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo, o professor mestre Paulo Cesar do Nascimento Salvador e o mestrando do curso de pós-graduação em Educação Física professor especialista Rafael Leal Dantas Estrela. Sendo assim, desejamos a partir deste documento fazer-lhe um convite para participar desta pesquisa, que não envolve nenhum gasto para você, e todos os materiais necessários serão providenciados pelos pesquisadores. Não haverá nenhuma forma de retribuição financeira, no entanto, serão prestadas assistência imediata e integral no caso de eventuais danos decorrentes de sua participação na pesquisa, assim como lhe será assegurado o direito de indenização e ressarcimento de despesas extraordinárias (associada à pesquisa) cujos recursos estão garantidos pelo pesquisador e se necessários serão repassados diretamente ao requerente seguindo devidamente os parâmetros legais destinados a tal finalidade. Os pesquisadores se responsabilizam pelo esclarecimento sobre a metodologia do estudo antes, durante e após o período da pesquisa, inclusive, garantindo a você o recebimento de uma via impressa deste

documento (TCLE) devidamente assinada e com rubrica em todas as páginas, sendo garantido também que a qualquer momento você possa desistir de participar e retirar seu consentimento.

Para o alcance do objetivo proposto pelo presente trabalho, serão realizados testes laboratoriais descritos a seguir. Todo o período do experimento durará no máximo duas semanas na seguinte ordem:

1) **Visita 1:** Avaliação antropométrica, familiarização com os equipamentos e realização do teste incremental máximo em cicloergômetro (tipo de bicicleta) para determinação do nível de sua aptidão física a partir de índices fisiológicos tais como; limiar ventilatório (LV), consumo máximo de oxigênio ($VO_2\text{max}$) e suas respectivas intensidades. O participante será orientado a alcançar o seu limite de esforço, mesmo assim, poderá solicitar a interrupção do teste no momento em que se sentir cansado ou que desejar terminar. Em todos os testes, o avaliado usará uma máscara para a coleta dos gases oxigênio e gás carbônico do ar expirado. É importante ressaltar que o modelo de máscara utilizado permite uma respiração natural com entrada e saída de ar pela boca e narinas o que torna o processo respiratório mais confortável. O participante usará também um medidor da frequência cardíaca e haverá como em todas as visitas, coletas de sangue capilar do lóbulo da orelha para a dosagem do lactato sanguíneo no início e no final do teste, o desconforto relacionado a estes procedimentos refere-se à picada da lanceta, não requerendo nenhum cuidado especial posterior, além de existir a remota possibilidade de náuseas, vômito e dores musculares em decorrência do esforço intenso realizado nos testes e experimentos. No entanto, menos de 1% da população americana apresenta desconforto durante este tipo de teste (*American College of Sports Medicine*). Dentre outros riscos estão: o natural cansaço proveniente do esforço máximo, eventual aborrecimento e/ou constrangimento causado pelos procedimentos presentes nos testes de esforço e antropométrico. É válido ressaltar que tais procedimentos serão aplicados por profissionais experientes.

2) **Visita 2:** Realização do *sprint* (esforço realizado em máxima velocidade na bicicleta) com duração de cinco segundos (controle) após aquecimento padronizado, ingestão de cápsula, aplicação de questionário para classificação do nível habitual de

consumo de cafeína, após 60 minutos da ingestão de uma cápsula que pode conter cafeína ou não, realização de exercício na intensidade submáxima correspondente a 60% da diferença entre o LV e o $VO_2\text{max}$, por 8 minutos seguido imediatamente de um novo sprint de cinco segundos. As cápsulas com cafeína irão conter $6\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ da massa corporal, quantidade esta, liberada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).

3) **Visita 3:** Após no mínimo 24 horas de intervalo, execução de *Sprint* com cinco segundos de duração (controle), ingestão de uma cápsula diferente da anterior, após 60 minutos da ingestão da cápsula, realização de exercício em intensidade submáxima correspondente a 60% da diferença entre o LV e o $VO_2\text{max}$, por 8 minutos seguido imediatamente de mais um *Sprint* de cinco segundos.

4) **Visita 4:** Repetição dos procedimentos da visita 2.

5) **Visita 5:** Repetição dos procedimentos da visita 3.

Todos os dados coletados neste estudo são estritamente confidenciais e serão utilizados apenas para produção de artigos técnicos científicos. Apenas os pesquisadores e o participante terão acesso às informações, que serão codificadas e armazenadas em banco de dados, de forma que a identificação por outras pessoas não seja possível, pois os nomes dos sujeitos serão substituídos por códigos numéricos. A futura apresentação pública desta pesquisa revelará apenas os resultados como um todo, sem mencionar seu nome, instituição ou qualquer informação relacionada à sua privacidade, com o intuito de proteger a imagem e impedir a estigmatização dos participantes, mesmo assim, há a remota possibilidade não intencional e portanto, involuntária de quebra de sigilo.

Quanto aos benefícios e vantagens em participar deste estudo, você contribuirá para o melhor entendimento de como a cafeína interfere na cinética do VO_2 e na fadiga muscular, isto poderá fornecer subsídios capazes de aprimorar a prescrição de exercícios e assim, melhorar o desempenho desportivo em atletas e a tolerância ao exercício de outros praticantes. Ademais, você será informado sobre sua composição corporal e marcadores de desempenho.

Caso você tenha alguma dúvida, poderá entrar em contato diretamente com os pesquisadores no Laboratório de Esforço Físico (LAEF) da UFSC, pelo telefone (048) 3721-9924 ou pelo e-mail: luizguilherme@cds.ufsc.br.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE DESPORTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA
ÁREA DE BIODINÂMICA DO DESEMPENHO HUMANO

**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E
ESCLARECIDO (TCLE)**

Declaro que fui informado pelo pesquisador de forma clara e objetiva, sobre todos os procedimentos do projeto de pesquisa intitulado: **Efeito agudo da ingestão de cafeína na cinética do consumo de oxigênio e na fadiga muscular**. Tirei todas as minhas dúvidas e estou ciente que todos os dados a meu respeito serão sigilosos e que posso me retirar do estudo a qualquer momento. Assinando este termo, eu aceito o convite e concordo em participar deste estudo de livre e espontânea vontade.

Nome: _____

Assinatura: _____

Florianópolis (SC) _____/_____/_____

Prof. Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo
(Pesquisador Responsável / Orientador)
LAEF: (48) 3721-9924, Dep. de Educação Física – UFSC
e-mail: luizguilherme@cds.ufsc.br.

Prof. Mdo. Rafael Leal Dantas Estrela
(Pesquisador Principal / Orientando)
LAEF: (48) 3721-9924, Dep. de Educação Física – UFSC
e-mail: rlestrela@gmail.com

COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA COM SERES HUMANOS
Universidade Federal de Santa Catarina, Prédio Reitoria II, R:
Desembargador Vitor Lima, nº 222, sala 401, Bairro: Trindade
(48) 3721-6094 E-mail: cep.propesq@contato.ufsc.br

ANEXO

ANEXO A - ALIMENTOS COM CAFEÍNA

Comida ou bebida	Porção	Cafeína (mg)
Café instantâneo	250 ml	60 (12-169)
Café	250 ml	80 (40-110)
Espresso	1 porção normal	107 (25-214)
Café gelado (marcas comerciais)	500 ml	30-200
Frappuccino	375 ml	90
Chá	250 ml	27 (9-51)
Chá gelado	600 ml	20-40
Chocolate quente	250 ml	5-10
Chocolate amargo	60 g	5-15
Coca-cola	375 ml	49
Pepsi cola	1375 ml	40
Refrigerante Jolt	1375 ml	75
Red Bull energy drink	250 ml	80
Red Eye Power energy drink	250 ml	50
V Energy drink	250 ml	50
Smart Drink – Brain fuel	250 ml	80
Lift Plus energy drink	250 ml	36
Lipovitan energy drink	250 ml	50
Black Stallion energy drink	250 ml	80
AMP Energy tallboy	500 ml	143
Spike Shotgun energy drink	500 ml	350
Fixx energy drink	600 ml	500
Ammo energy shot	30 g	170
Jolt endurance shot	60 g	150
PowerBar sports gel – cafeinado	40 g	25
PowerBar sports gel – duplo cafeinado	40 g	50
GU sports gel – cafeinado	32 g	20
Carboshotz sports gel – cafeinado	50 g	80
PB Speed sports gel	35 g	40
PowerBar Actical Performance bar	65 g	50
Jolt goma de mascar cafeinada	1 goma	40
No-Doz (Austrália)	1 tablete	100
No-Doz (EUA)	1 tablete	200
Extra Etrength Excedrin	1 tablete	65

Fonte: Adaptado de Burke (2008).

ANEXO B - ESCALA DE IDENTIFICAÇÃO DA PERCEPÇÃO
SUBJETIVA DE ESFORÇO PROPOSTA POR BORG (BORG,
2000)

6	SEM NENHUM ESFORÇO
7	EXTREMAMENTE LEVE
8	
9	MUITO LEVE
10	
11	LEVE
12	
13	UM POUCO INTENSO
14	
15	INTENSO (PESADO)
16	
17	MUITO INTENSO
18	
19	EXTREMAMENTE INTENSO
20	MÁXIMO ESFORÇO