

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE

FABIANO APARECIDO PINHEIRO

Efeitos da privação de luz sobre o desempenho e as respostas fisiológicas e psicológicas  
durante exercício aberto e fechado

São Paulo  
2014

FABIANO APARECIDO PINHEIRO

Efeitos da privação de luz sobre o desempenho e as respostas fisiológicas e psicológicas durante exercício aberto e fechado

Dissertação apresentada à Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em ciências.

Programa: Educação Física

Área de concentração: Estudos do Esporte

Orientador: Prof. Dr. Flávio de Oliveira Pires

São Paulo

2014

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

Nome: Pinheiro, Fabiano Aparecido

Título: Efeitos da privação de luz sobre o desempenho e as respostas fisiológicas e psicológicas durante exercício aberto e fechado / Fabiano Aparecido Pinheiro. – São Paulo: [s.n], 2014.

74 páginas.

Dissertação de mestrado – Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Flávio de Oliveira Pires

1. Relógio biológico interno. 2. Sistema visual. 3. Tolerância ao esforço. 4. Estratégia de prova. 5. Regulação central do esforço. I. Título

Nome: Pinheiro, Fabiano Aparecido

Título: Efeitos da privação de luz sobre o desempenho e as respostas fisiológicas e psicológicas durante exercício aberto e fechado.

Dissertação apresentada à Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em ciências.

Aprovado em:

#### BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. \_\_\_\_\_ Instituição: \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. \_\_\_\_\_ Instituição: \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. \_\_\_\_\_ Instituição: \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Com muito amor e gratidão, dedico este trabalho aos meus pais, meu irmão e minha futura esposa que incansavelmente estiveram ao meu lado na elaboração deste trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Flávio de Oliveira Pires pelos grandes ensinamentos ao longo do mestrado. Ensinamentos que ultrapassaram a barreira orientador/aluno e que serão lembrados por toda a eternidade. Além disso, gostaria de agradecer-lo pelas incansáveis horas de trabalho junto comigo para que este trabalho chegasse ao fim.

Agradeço aos meus amigos de graduação Flávia Simal, Suzana Palma e Sílvio Cruz por sempre me apoiarem na idéia de realizar o mestrado e ao meu melhor amigo Alberto Tadashi pelo apoio prestado no decorrer da minha carreira. Agradeço também ao Prof. Dr. Gilberto Laurentino, grande professor da graduação que me convidou a participar do Grupo de Estudos em Adaptações Neuromusculares ao Treinamento de Força, local onde tive a oportunidade de conhecer minha grande amiga Carla da Silva Batista, além de Lucas Tavares e Everton Crivoi que foram extremamente importantes para meu ingresso no mestrado e para meu amadurecimento acadêmico.

Aos Prof. Drs Carlos Ugrinowitsch e Valmor Tricoli por todo apoio prestado pré e durante o decorrer do processo, além dos ensinamentos transmitidos em nossas conversas. Aos Drs Prof. Emerson Franchini e Rômulo Bertuzzi que cederam uma sala do LADESP para que este trabalho pudesse ser realizado em ambiente específico por todo o período de coleta. Agradeço também, a todos os meus amigos dos laboratórios de treinamento de força (Renato Barroso, Rodrigo, Kátia, Natália, Saulo Gil, etc.) e LADESP (Salomão Bueno, Leonardo Pasqua, Edson Degaki, Mayara Damasceno, Ursula, Valéria, etc.) por todo apoio prestado, todos os conselhos que foram dados de coração e, por todos os momentos de risadas que tivemos juntos. E finalmente, a todos os integrantes do Grupo de Estudos em Psico-fisiologia do Exercício (GEPsE) que sempre estiveram ao meu lado no decorrer do processo, somando suas ideias às minhas e remando o barco, contra a correnteza, com muita força de vontade, fazendo com que eu pudesse chegar até o presente momento.

MUITO OBRIGADO!

## RESUMO

Pinheiro, F.A. **Efeitos da privação de luz sobre o desempenho e as respostas fisiológicas e psicológicas durante exercício aberto e fechado.** 2014. Dissertação (Mestrado) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

O sistema visual exerce importante papel para o reconhecimento do ambiente externo e para estabelecer relações entre objetos, tempo e espaço. Além disso, ele está relacionado com o controle e o desempenho motor. O objetivo deste estudo foi verificar se a privação de luz ambiente alteraria o desempenho e as respostas fisiológicas e psicológicas durante dois modelos de exercício, um fechado e um aberto. Onze ciclistas formaram o grupo de exercício fechado (GEF) e completaram um teste de 20 km, enquanto doze indivíduos ativos formaram o grupo de exercício aberto (GEA) e executaram um teste de potência constante até a exaustão (TWC). Após teste incremental máximo, GEF e GEA realizaram exercício na presença (controle) ou privação (experimental) de luz ambiente, em ordem balanceada. Respostas de desempenho, VE, VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub>, RER, FC, eletromiografia do músculo vasto lateral (EMG), percepção subjetiva de esforço (PSE) e pensamento associado ao exercício (PAE) foram obtidas durante, e no ponto final do exercício, em ambas as condições. O tempo total de exercício indicou a resposta de desempenho em GEF e GEA. As respostas das variáveis fisiológicas e psicológicas foram analisadas durante a realização, ou no ponto final do exercício. A média das respostas geradas durante os 20 km no GEF, e as respostas obtidas no mesmo tempo absoluto do TWC no GEA, pareado pelo menor tempo de exaustão atingido no teste, indicaram as respostas durante a execução do exercício. As respostas obtidas nos 5 segundos finais de cada exercício indicaram as respostas do ponto final do GEF e GEA. A taxa de incremento na PSE foi calculada em GEF e GEA, e o erro de predição da distância real percorrida no teste de 20 km foi obtido no GEF. No GEF, não houve efeito da privação de luz sobre o tempo para completar o teste de 20 km, porém a privação de luz gerou menores respostas ( $P < 0,01$ ) na VE, VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub>, EMG e PAE, quando comparada ao controle. No ponto final do exercício, nenhuma diferença foi verificada entre as condições. A privação de luz não alterou a taxa de elevação da PSE ou o erro de predição da distância percorrida. No GEA a privação de luz ambiente reduziu o tempo de exaustão ( $P < 0,05$ ) no TWC e aumentou a resposta do VO<sub>2</sub> e EMG ( $P < 0,05$ ). Entretanto, não foi observado efeito da privação de luz

na VE, VCO<sub>2</sub> e FC. No ponto final do exercício observou-se menor EMG com a privação de luz ( $P < 0,03$ ), mas nenhuma diferença nas demais variáveis foi observada. Maior taxa de elevação na PSE foi observada em ambiente privado de luz. Os resultados do presente estudo podem ser interpretados de acordo com a existência de um “relógio biológico interno” que calcula a duração tolerável do exercício de acordo com a aproximação ao ponto final do exercício, sugerindo que os efeitos da privação de luz sobre o desempenho possam depender da presença de um ponto final previamente conhecido.

Palavras-chave: sistema visual, percepção subjetiva de esforço, tolerância ao esforço, estratégia de prova; regulação central.



## ABSTRACT

Pinheiro, F.A. **Effects of light deprivation in performance and physiological and psychological responses during open and closed loop exercise.** 2014. Dissertation (Master) – School of Physical Education and Sport, University of São Paulo, São Paulo, 2014.

The visual system plays an important role for the environment recognition as well as to set objects, time and space relationships. Furthermore, the visual system is related to the motor learning and performance. The aim of this study was to verify if light deprivation environment would alter performance, and physiological and psychological responses to different exercise modes, closed- and open-loop exercises. Eleven cyclists were the closed-loop exercise group (CLE) and performed a 20 km time trial, while twelve active individuals were the open-loop exercise group (OLE) and cycled to exhaustion during a constant workload exercise. After maximal incremental test CLE and OLE groups performed exercise in a control and experimental condition (i.e. under light deprivation), in a counterbalanced fashion. Performance responses and responses of VE, VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub>, RER, HR, electromyography of the vastus lateralis muscle (EMG), ratings of perceived exertion (RPE) and associative thoughts to exercise (ATE) were obtained during exercise and at the exercise endpoint in both the conditions. Time of exercise indicated performance responses in CLE and OLE groups. Physiological and psychological responses were analyzed either during or at the exercise endpoint. Mean responses throughout the 20 km cycling time trial and responses obtained at absolute matched time of exercise, corresponding to the shortest time to exhaustion provided responses along the exercise in CLE and OLE groups, respectively. Responses obtained during the last 5 seconds of the exercises provided responses at the exercise endpoint in both CLE and OLE groups. The rate of increase in RPE was calculated in CLE and OLE groups, and the predictive error of the distance was calculated in the CLE group. In CLE group no effect of light deprivation was observed in the time to complete the 20 km, although the lower response ( $P < 0.01$ ) of VE, VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub>, EMG e ATE when compared to control condition. Neither difference was observed in variables at the exercise endpoint. Light deprivation had effect in neither rate of increase in RPE or predictive error of distance. Regarding OLE group the light deprivation decreased the time to exhaustion ( $P < 0.05$ ) and increased VO<sub>2</sub> and EMG ( $P < 0.05$ ) responses. However, there was no light

deprivation effect in VE, VCO<sub>2</sub> and HR. Lower EMG was observed at the exercise endpoint in light deprivation condition ( $P < 0.05$ ) than in control, but no difference was observed in the others. Greater rate of increase in RPE was detected ( $P < 0.05$ ) in the light deprivation condition than in control. Results of the present study were interpreted according to a “biological internal clock” that calculates the tolerable exercise duration based on the exercise endpoint approximation, suggesting that light deprivation effects on performance may depend on the presence of an exercise endpoint previously known.

Key-words: visual system, perceived exertion, exercise tolerance, pacing strategy, exercise centrally-regulated.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Duração total do teste de 20 km no GEF executado na condição controle e experimental .....	49
Figura 2 - Percepção Subjetiva de Esforço (PSE) durante o teste de 20 km no GEF na condição controle e experimental. ....	51
Figura 3 - Potência mecânica gerada ao longo do teste de 20 km no GEF na condição controle e experimental.....	53
Figura 4 - Erro de predição da distância real percorrida durante o teste de 20 km no GEF na condição controle e experimental. ....	54
Figura 5 - Duração total do teste de carga constante (TWC) no GEA executado na condição controle e experimental. ....	55
Figura 6 - Percepção Subjetiva de Esforço (PSE) durante o teste de carga constante (TWC) no GEA na condição controle e experimental. ....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização antropométrica e resultados obtidos durante o teste incremental máximo em ambos os grupos exercício fechado (GEF) e exercício aberto (GEA). .....	48
Tabela 2 - Respostas da potência mecânica, fisiológicas e psicológicas durante a realização e ao ponto final do teste de 20 km executado pelo GEF, nas condições controle e experimental. ....	52
Tabela 3 - Respostas fisiológicas e psicológicas durante a execução e ao ponto final do teste de carga constante (TWC) realizado pelo GEA nas condições controle e experimental. ....	57

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE TABELAS .....	xi
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2. OBJETIVOS E HIPÓTESES</b> .....	18
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	19
3.1. A FADIGA DURANTE O EXERCÍCIO .....	19
3.2. SISTEMAS E ESTRUTURAS CEREBRAIS QUE PARTICIPAM DA REGULAÇÃO E CONTROLE MOTOR .....	22
<b>3.2.1. Cerebelo</b> .....	22
<b>3.2.2 Gânglios da base</b> .....	24
<b>3.2.3 Participação dos sistemas proprioceptivo e visual no controle e precisão dos movimentos</b> .....	25
<b>3.2.4 O sistema motor e sua integração com as áreas sensório-motoras e visual</b> ....	27
3.3. A REGULAÇÃO MOTORA E ALGUMAS RESPOSTAS PSICOLÓGICAS DURANTE O EXERCÍCIO - A PERCEPÇÃO SUBJETIVA DE ESFORÇO E O PENSAMENTO ASSOCIADO AO EXERCÍCIO.....	29
<b>3.3.1 Respostas da PSE em exercícios abertos e exercícios fechados</b> .....	32
<b>3.3.2 Manipulações do PAE e suas relações com a PSE e o desempenho motor</b> .....	34
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	37
4.1. AMOSTRA.....	37
<b>5. DESENHO EXPERIMENTAL</b> .....	38
5.1. TESTE INCREMENTAL MÁXIMO PRELIMINAR .....	40
5.2. ANÁLISE DOS DADOS DO TIM .....	41
5.3. SESSÃO DE FAMILIARIZAÇÃO COM O TESTE DE 20 KM .....	41
5.4. SESSÃO CONTROLE - EXERCÍCIO SEM PRIVAÇÃO DE LUZ.....	42
5.5. SESSÃO EXPERIMENTAL - EXERCÍCIO COM PRIVAÇÃO DE LUZ.....	42
5.6. INSTRUMENTOS E MEDIDAS .....	43
5.7. ANÁLISE DE DADOS .....	44
<b>6. ANÁLISE ESTATÍSTICA</b> .....	47
<b>7. RESULTADOS</b> .....	48

7.1	GRUPO EXERCÍCIO FECHADO (teste de 20 km).....	48
7.1.1	<i>Desempenho</i> .....	48
7.1.2	<i>Respostas fisiológicas</i> .....	49
7.1.3	<i>Respostas psicológicas</i> .....	50
7.1.4	<i>Estratégia de prova no teste de 20 km</i> .....	52
7.1.5	<i>Erro de predição da distância percorrida no teste de 20 km</i> .....	53
7.2	GRUPO EXERCÍCIO ABERTO (TWC) .....	54
7.2.1	<i>Desempenho</i> .....	54
7.2.2	<i>Respostas fisiológicas</i> .....	55
7.2.3	<i>Respostas psicológicas</i> .....	56
8.	<b>DISCUSSÃO</b> .....	58
8.1	EFEITOS DA PRIVAÇÃO DE LUZ NO EXERCÍCIO FECHADO (TESTE DE 20 KM) .....	58
8.2	EFEITOS DA PRIVAÇÃO DE LUZ NO EXERCÍCIO ABERTO (TWC) .....	62
9.	<b>CONCLUSÕES</b> .....	65
10.	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	66

## 1. INTRODUÇÃO

A integração dos sistemas visual, auditivo, proprioceptivo e vestibular (CRAIG, 2003; GOODALE; HUMPHREY, 1998; KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003), entre outros (RIZZOLATTI; LUPPINO, 2001), desempenha importante papel no reconhecimento do ambiente externo, assim como na cognição de diferentes objetos e suas inter-relações com o tempo e o espaço (FIELD; WILKIE; WANN, 2007; GOODALE; HUMPHREY, 1998). A integração das informações providas por estes sistemas é de fundamental importância para alimentar e retroalimentar o reconhecimento do ambiente em que estamos inseridos, sendo tratada neste trabalho como “*feedback* contextual” (STEIN, 1986). Além disso, o *feedback* contextual parece estar relacionado com o controle e desempenho motor (POTTEIGER, 2011), uma vez que informações derivadas desses sistemas, quando integradas pelo sistema nervoso central (SNC) para a criação do *feedback* contextual, são utilizadas para ajustar o equilíbrio corporal e o padrão do movimento motor (KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003).

As relações entre *feedback* contextual e desempenho motor têm sido objeto de investigação em estudos recentes. Utilizando abordagem com realidade virtual (RV), Mestre, Ewald e Maiano (2011) analisaram os efeitos da manipulação do *feedback* contextual sobre o desempenho motor, a percepção subjetiva de esforço (PSE) e o pensamento associado ao exercício (PAE). Utilizando uma bicicleta acoplada a um ciclo simulador, voluntários ativos realizaram uma sessão preliminar para a determinação da velocidade média correspondente à frequência cardíaca (FC) de 110 bpm, a qual foi utilizada como intensidade de referência nas três condições subsequentes, randomicamente distribuídas da seguinte maneira: 1) sem RV (controle); 2) com RV numa pista virtual de ciclismo de 400 metros; 3) com RV numa pista virtual de ciclismo de 400 metros, e a presença de um treinador virtual configurado para pedalar na velocidade média obtida na sessão preliminar. Em todas as condições os voluntários foram orientados a percorrer uma distância total de 10 km na intensidade de referência (110 bpm) e relatar a PSE e o PAE ao final da sessão. Apesar da ausência de diferença na velocidade média entre as condições, foi observada uma tendência de redução da PSE e do PAE nas condições com RV. Os autores sugeriram que a RV pode ter produzido um efeito distrativo, reduzindo os níveis de PAE e PSE do exercício. Contudo, o modelo de exercício utilizado, com intensidade e duração controladas, não permitiu inferir se a

manipulação do *feedback* contextual por meio da RV poderia ter afetado o desempenho motor (MESTRE; EWALD; MAIANO, 2011).

Alterando o *feedback* contextual por meio da manipulação de música, Carnaúba et al. (2011) e Lima-Silva et al. (2012) submeteram voluntários ativos a uma corrida de 5 km em esteira rolante, do tipo “contra-relógio”. Medidas de desempenho tais como o tempo de prova e a velocidade média, e medidas psicológicas como PSE e PAE, foram obtidas quando o exercício foi executado nas condições controle e experimental com música. Reduções no tempo médio de prova e no tempo dos primeiros 1,5 km, além de reduções no PAE, foram observadas quando o exercício foi realizado na presença de música (CARNAÚBA et al., 2011; LIMA-SILVA et al., 2012;). Como sugerido no estudo de Mestre, Ewald e Maiano (2011), um efeito distrativo devido à manipulação do *feedback* contextual por meio da música pode ter ocorrido. Nesse caso, a música poderia ter reduzido o foco sobre as sensações de fadiga geradas pelo exercício, possibilitando que a distância de 5 km fosse completada numa maior velocidade média e menor tempo (LIMA-SILVA et al., 2012). Em adição, o menor foco sobre as sensações de fadiga pode estar relacionado à manutenção da PSE em níveis semelhantes aos reportados na condição controle, apesar da maior velocidade média gerada nos 1,5 km iniciais da prova na condição experimental.

Contrapondo os estudos de Carnaúba et al. (2011), Lima-Silva et al. (2012) e Mestre, Ewald e Maiano (2011), resultados diferentes foram obtidos por Kriel et al. (2007) quando da manipulação do *feedback* contextual por meio da privação de luz ambiente combinada à informação do tempo de exercício. Respostas de desempenho (potência mecânica), e respostas fisiológicas (FC) e psicológicas (PSE) foram medidas durante um teste de ciclismo de 40 km nas seguintes condições: 1) em ambiente comum de laboratório, na presença de luz ambiente e sem informação do tempo decorrido de exercício (controle); 2) em laboratório com privação total de luz ambiente (natural ou artificial), sem informação do tempo decorrido de exercício; 3) em laboratório com privação total de luz ambiente, com informação correta do tempo decorrido (os voluntários eram informados corretamente que escutariam um sinal sonoro a cada 120 segundos); 4) em laboratório com privação total de luz ambiente, com informação incorreta do tempo decorrido (os voluntários eram informados que escutariam um sinal sonoro a cada 120 segundos, porém o sinal era acionado a cada 105 segundos). Nenhuma diferença foi observada nas variáveis de desempenho, na FC ou PSE, entre as condições. Os autores propuseram que a ausência de alteração no desempenho quando o *feedback* contextual foi manipulado por meio da privação de luz ambiente pudesse ser explicada pela existência de um “relógio biológico interno”, o qual asseguraria o alcance do ponto final do exercício da



forma mais eficiente possível, sem a necessidade da presença de luz ambiente (KRIEL et al., 2007).

No modelo de “relógio biológico interno”, regiões do SNC seriam responsáveis por integrar informações aferentes das condições fisiológicas do corpo, às informações do contexto do exercício. Por exemplo, informações do metabolismo, temperatura corporal e concentrações de substratos energéticos seriam integradas às informações sobre as variações no contexto do exercício, tais como a presença/ausência de som, luz, objetos, etc (NOAKES; ST CLAIR GIBSON; LAMBERT, 2004; ST CLAIR GIBSON et al., 2006). Em teoria, a integração destas informações contextuais possibilitaria ao SNC o gerenciamento do gasto energético atual do exercício, calculando a quantidade de reserva energética disponível em função da aproximação com o ponto final (i.e. término) do exercício (ST CLAIR GIBSON et al., 2006). Neste modelo fica explícita a necessidade do gerenciamento do tempo em que o esforço é realizado, para que o ponto final seja alcançado de forma eficiente.

Assumindo a existência de um mecanismo de regulação central do esforço, baseado no conceito de “relógio biológico interno”, seria possível esperar que as informações fornecidas sobre o tempo de exercício, mesmo quando imprecisas, tenham permitido que os voluntários do estudo de Kriel et al. (2007) identificassem o ponto final do exercício com razoável precisão. Esta possibilidade é corroborada pelo fato de que manipulações do contexto por meio de informações do tempo e distância de exercício, mesmo quando incorretas, não produziram alterações no desempenho durante exercícios com ponto final previamente estabelecido (ALBERTUS et al., 2005; MICKLEWRIGHT et al., 2009). Desta forma, as informações do tempo decorrido no estudo de Kriel et al. (2007), mesmo quando incorretas, poderiam ter permitido o cálculo da distância e tempo de exercício até o alcance do ponto final, reduzindo assim, os possíveis efeitos da privação de luz. Considerando que o sistema visual desempenha importante papel no reconhecimento de eventos no tempo e espaço (GOODALE; HUMPHREY, 1998) seria razoável esperar que a privação de luz, sem a presença de informações do tempo de exercício, possa afetar a capacidade de reconhecer o tempo decorrido e de estimar o ponto final de um exercício com ponto final estabelecido. Nesse caso, no entanto, precisaríamos assumir que os possíveis efeitos da privação de luz dependem da presença de um ponto final de exercício previamente estabelecido, para que seja possível o monitoramento da distância e tempo de exercício.

Diferentemente de um exercício fechado por um ponto final previamente estabelecido, como num teste de ciclismo de 20 km, exercícios abertos não possuem ponto final estabelecido. Por exemplo, em exercícios constantes ou incrementais até a exaustão o ponto

final do exercício não é previamente conhecido, pois o término (i.e. ponto final) do exercício depende da tolerância do indivíduo ao esforço. Ademais, diferentemente de exercícios fechados durante os quais é possível variar a potência mecânica produzida, exercícios abertos normalmente não permitem variações na potência mecânica durante a sua execução.

De acordo com a teoria do “relógio biológico interno”, a presença de um ponto final conhecido e a possibilidade de variar a potência mecânica durante o exercício são condições fundamentais para a regulação do esforço pelo SNC, uma vez que tal regulação dependeria do cálculo da quantidade de reserva energética disponível em função da aproximação ao ponto final do exercício (ST CLAIR GIBSON et al., 2006). Desta forma, poderia ser entendido que a privação de luz ambiente poderia afetar o funcionamento do “relógio biológico interno”, alterando a regulação do esforço e o alcance do ponto final de um exercício aberto. Em outras palavras, a privação de luz ambiente poderia causar um distúrbio sobre o funcionamento do “relógio biológico interno” e modificar o tempo para o alcance do ponto final de um exercício aberto (i.e. tempo de exaustão).

Contudo, até o momento nenhum estudo foi desenhado para investigar os efeitos da privação de luz ambiente sobre o desempenho em exercícios abertos e fechados, realizados sem a presença de informações do tempo de exercício. Ademais, seria interessante investigar se a privação de luz pode modificar as respostas fisiológicas e psicológicas de forma semelhante em exercícios fechados e abertos, com e sem a presença de um ponto final conhecido, respectivamente.

## 2. OBJETIVOS E HIPÓTESES

O objetivo central deste estudo foi verificar os efeitos da privação de luz ambiente sobre o desempenho e as respostas fisiológicas e psicológicas durante exercícios com ponto final conhecido (exercício fechado) e ponto final desconhecido (exercício aberto).

Os objetivos específicos foram verificar se a privação de luz ambiente: 1) modificaria o tempo gasto para completar um teste de ciclismo de 20 km (exercício fechado) ou o tempo de permanência num teste de potência mecânica constante (TWC) (exercício aberto); 2) modificaria variáveis fisiológicas como as respostas cardiopulmonares e as respostas da atividade eletromiográfica (EMG) em ambos modelos de exercício; 3) alteraria a PSE e o PAE e ambos modelos de exercício; 4) e, especificamente no exercício fechado, se alteraria a distribuição da potência mecânica ao longo do teste de 20 km e modificaria a capacidade do indivíduo prever a distância percorrida, identificando o ponto final do exercício.

As hipóteses centrais eram que o ambiente com privação de luz (natural e artificial) alteraria a capacidade do indivíduo identificar o ponto final no teste de 20 km e diminuiria a tolerância ao esforço no TWC. Como consequência, a privação de luz afetaria o desempenho em ambos os modelos de exercício, elevando o tempo gasto para completar o teste de ciclismo de 20 km e reduzindo o tempo de permanência (i.e. exaustão) no TWC. Tal redução no desempenho em ambiente com privação de luz seria acompanhada por maiores respostas fisiológicas (cardiopulmonares e de EMG) e psicológicas (PSE e PAE) ao longo do exercício, quando comparadas na mesma duração absoluta de exercício. Entretanto, a privação de luz não deveria afetar as respostas fisiológicas e psicológicas máximas, obtidas no ponto final de exercício. Em outras palavras, a hipótese era que a privação de luz alteraria a regulação do esforço durante a execução dos exercícios, mas não em seu ponto final.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

Na tentativa de aumentar a compreensão das bases que fundamentam o presente projeto, esta revisão de literatura abordou aspectos ligados ao controle e desempenho motor, considerando o SNC, ou mais especificamente as regiões supra-espinhais, como parte fundamental deste controle. Em especial, áreas e sistemas cerebrais possivelmente ligados aos mecanismos de regulação motora foram abordados. Porém, como o presente projeto investiga a regulação motora dentro da perspectiva do desempenho motor, mecanismos tradicionalmente sugeridos como determinantes do desempenho motor foram apresentados inicialmente. Por último, foram abordadas algumas respostas psicológicas que podem ter associação com a regulação do exercício.

#### 3.1. A FADIGA DURANTE O EXERCÍCIO

A fadiga é um fenômeno multifatorial que se manifesta, operacionalmente, pela redução na produção de força ou potência (GREEN, 1997). Diferentes modelos fisiológicos têm sido propostos para explicar os reais mecanismos deste fenômeno. O modelo mais tradicional é conhecido como modelo de fadiga catastrófica, pois assume que a fadiga ocorre de forma repentina e irreversível (NOAKES; ST CLAIR GIBSON; LAMBERT, 2004). A abordagem do fenômeno é feita de maneira dicotômica, dividindo a fadiga entre periférica (músculos periféricos) e central (SNC).

Neste modelo catastrófico a fadiga periférica é usualmente definida como a queda da capacidade que o músculo esquelético tem em gerar força, sem que haja redução no comando motor eferente provido pelo SNC (TAYLOR; BRONKS; HUMPHRIES, 1997). Nesse caso, a incapacidade do músculo esquelético em gerar e manter uma determinada força ocorreria devido a limitações cardiovasculares, alterações na atividade do ciclo das pontes cruzadas, falha no acoplamento contrátil (excitação-contração), ou falha na propagação do potencial de ação. Estudos *in vitro* têm demonstrado que fatores moleculares podem ser responsáveis pela queda na geração da produção de força muscular, como por exemplo, o aumento do fosfato inorgânico ou da concentração de íons de hidrogênio, prejudicando a sensibilidade miofibrilar

ao cálcio. Adicionalmente, o aumento das concentrações de adenosina difosfato (ADP) também é apontado como responsável pela perda de eficiência na ligação das pontes cruzadas (FITTS, 1994, 2008).

Em relação às limitações cardiovasculares, a explicação mais tradicional é que a fadiga seria resultado do débito cardíaco e consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2max}$ ) limitados. A fadiga ocorreria devido à instalação de acidose metabólica derivada do acúmulo de íons hidrogênio, durante exercícios em que o aumento no débito cardíaco não é suficiente para atender a demanda energética por oxigênio. Contudo, não é claro que o sistema cardiovascular seja o principal limitador do desempenho, principalmente os de longa duração. Noakes (1988), e Noakes, Myburg e Schall (1990), verificaram que o desempenho aeróbio de atletas de provas de longa duração, medido pela velocidade de pico em teste incremental máximo ou pelo tempo de prova, variava consideravelmente entre atletas com valores equivalentes de  $VO_{2max}$ . Isto poderia indicar que os fatores limitantes do desempenho poderiam estar relacionados a outros fatores não diretamente relacionados ao  $O_2$  tecidual.

De outro lado, a fadiga central pode ser definida como uma redução no comando motor eferente gerado pelo SNC, implicando num declínio da força muscular independente das mudanças ocorridas na unidade contrátil do músculo esquelético (ENOKA; STUART, 1992). Estudos têm observado uma queda do comando motor central gerado em exercícios de intensidades máximas ou submáximas (TAYLOR; GADEVIA, 2008), como por exemplo, no ciclismo (LEPERS et al., 2000; 2002) e na corrida (PLACE et al., 2004). Alguns mecanismos são propostos como os responsáveis pela redução do comando central que alcança os motoneurônios alfa ( $\alpha$ ), tais como a elevação dos níveis de serotonina cerebral que leva à redução nos impulsos corticoespinhais ou o reflexo de inibição pelos fusos e órgãos tendinosos de Golgi (LEPERS et al., 2001). De acordo com Davis e Walsh (2010), e Enoka e Stuart (1992), o aumento da aferência negativa (fibras do grupo III e IV) do músculo periférico geraria uma diminuição na taxa de disparo dos comandos descendentes, originado no SNC, implicando em queda na produção de força e/ou potência mecânica.

Embora os aspectos da fadiga central e periférica sejam entendidos separadamente, evidências apontam para a participação de ambos os tipos de fadiga durante o exercício. Lepers et al. (2000) obtiveram medidas derivadas da força muscular (pico de torque, taxa de desenvolvimento de força, meio tempo de relaxamento e onda M) em atletas, antes e após um teste de ciclismo de longa duração, enquanto a EMG dos músculos vasto lateral e medial foi obtida durante todo o teste. Embora sem reduções na potência mecânica gerada, houve queda de 21% na cadência do pedal, a qual foi acompanhada por uma significativa redução na EMG.

Também foi observada queda no pico de torque e na taxa de desenvolvimento de força após a prova. Tais resultados foram interpretados como um indicativo de que fatores centrais e periféricos possam ocorrer, simultânea e mutuamente, durante tarefas prolongadas. Neste caso, é necessário assumir que a redução na EMG seja resultante da diminuição do comando central gerado pelo SNC, e que a queda no pico de torque e na taxa de desenvolvimento de força durante uma contração voluntária máxima com estímulo sobreposto indique uma redução da transmissão ou excitabilidade neuromuscular.

Recentemente, autores têm argumentado que o modelo catastrófico é limitado em explicar o desempenho físico, pois ignora o fato de que o corpo humano é um complexo sistema integrado de informações, e que a fadiga possa ser um fenômeno regulado (DAVIES, 2000; ST CLAIR GIBSON; NOAKES, 2004). De fato, definições mais abrangentes sobre fadiga, dentro de um contexto complexo, têm sido sugeridas (MARCORA et al., 2008). Na tentativa de explicar o desempenho motor, St Clair Gibson e Noakes (2004) sugeriram que a fadiga seja interpretada dentro de uma perspectiva complexa e integrada, e que aspectos cardiovasculares, metabólicos, biomecânicos e neurais, sejam integrados a aspectos psicológicos.

Neste modelo integrado, sinais provenientes da periferia (vísceras e músculo esquelético, respiratório e cardíaco) seriam enviados por fibras aferentes III e IV (AMANN, 2012; CRAIG, 2002, 2003, 2009; ROTTO; KAUFMAN, 1988) à regiões subcorticais do cérebro, informando-as sobre as alterações do metabolismo, temperatura, concentrações de substratos energéticos, entre outras. Tais informações seriam necessárias para que o SNC, especialmente as regiões subcorticais e as áreas corticais do planejamento motor, possa calcular o custo metabólico da tarefa, ajustando o nível de recrutamento muscular em limites toleráveis ao indivíduo, evitando que o exercício ocasione riscos ao organismo e a fadiga precoce seja evitada (LAMBERT; ST CLAIR GIBSON; NOAKES, 2005; NOAKES; ST CLAIR GIBSON; LAMBERT, 2005; ST CLAIR GIBSON; NOAKES, 2004).

Como evidências da atuação do SNC durante o exercício, estes autores têm utilizado dados de potência mecânica gerada ao longo de exercícios com ponto final conhecido, os quais permitem variações na produção de potência (ABBIS; LAURSEN, 2008). As variações na produção de potência ao longo de exercícios deste tipo são interpretadas como resultado da ação do SNC na tentativa de regular o gasto energético durante o esforço (DE KONING; NOBBERT; FOSTER, 1999; FOSTER et al.; 1993; FOSTER et al., 2004). Neste caso, sugere-se que as diferentes estratégias de distribuição da potência mecânica ao longo de exercícios deste tipo seja uma forma que o SNC tem para ajustar o esforço de acordo com as contínuas

alterações nas condições psicofisiológicas impostas pelo exercício (ST CLAIR GIBSON et al., 2006).

Dentro deste modelo em que periferia e SNC agem de forma integrada, as ações do SNC se assemelhariam à ação de um “relógio biológico interno”, o qual controlaria a passagem do tempo de maneira escalar (ST CLAIR GIBSON et al., 2006). Baseado em informações dos sistemas fisiológicos periféricos, assim como em experiências prévias e o contexto onde o exercício está sendo realizado, o SNC teria condições de conhecer o tempo decorrido de exercício e promover ajustes no nível de recrutamento muscular, com o objetivo de controlar o gasto energético para assegurar que o ponto final do exercício seja alcançado. É necessário ressaltar, no entanto, que a sugestão da existência desse “relógio interno” é suportada, principalmente, em argumentos teóricos, mais do que por evidências experimentais contundentes. A seguir, estruturas cerebrais possivelmente envolvidas na ação do “relógio biológico interno”, regulador do exercício, serão apresentadas.

## 3.2. SISTEMAS E ESTRUTURAS CEREBRAIS QUE PARTICIPAM DA REGULAÇÃO E CONTROLE MOTOR

### 3.2.1. *Cerebelo*

Constituindo 10% do volume total do cérebro, com mais da metade de todos os neurônios cerebrais, o cerebelo desempenha um importante papel para o controle motor e cognitivo (DREHER; GRAFMAN, 2002; KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003). Sua organização anatômica, envolvendo o córtex cerebelar e três pares de núcleos profundos (fastigial, interpósito e denteado) permite certa integração com centros motores, tais como córtex cerebral, gânglios da base e tronco encefálico, conferindo precisão, velocidade e habilidade aos movimentos voluntários e reflexos (GLICKSTEIN; DORON, 2008; HOSHI et al., 2005; KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003; MANZONI, 2007). O cerebelo desempenha importante função na aprendizagem motora, devido à modificação sináptica do circuito cerebelar, além de participar da realização de funções ligadas ao planejamento,

execução e repetição do movimento (GLICKSTEIN; DORON, 2008; KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003; MANZONI, 2007).

Por outro lado, o cerebelo é importante para o reconhecimento do contexto (*feedback* contextual), pois também está envolvido na cognição e movimentação dos olhos (DREHER; GRAFMAN, 2002; GLICKSTEIN; DORON, 2008), controle postural, equilíbrio (sistema vestibular) e propriocepção (STEIN, 1986). De acordo com Stein (1986), o cerebelo está envolvido com aspectos importantes das informações visuais, juntamente com os gânglios da base, pois participa da recepção das projeções visuais que são posteriormente transmitidas ao córtex motor (STEIN, 1986).

Devido ao seu envolvimento no controle motor e visual (KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003; STEIN, 1986), é razoável esperar que o cerebelo esteja envolvido em aspectos cognitivos do exercício físico. Por exemplo, pacientes com lesões cerebelares laterais apresentam déficits cognitivos, tais como prejuízos no contexto cronológico de eventos que deveriam ocorrer em série. Kandel; Schwartz; Jessell (2003), afirmam que tais pacientes realizam tarefas motoras dessincronizadas, um comportamento conhecido como decomposição do movimento. Adicionalmente, pacientes com lesão cerebelar demonstram uma perda na habilidade de julgar o tempo transcorrido em tarefas cognitivas, como por exemplo, quando é necessário identificar a duração de um determinado som ou a velocidade de diferentes objetos em movimento (KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003). De fato, Dreher e Grafman (2002), verificaram por meio de ressonância magnética funcional por imagem, através de diferentes tarefas cognitivas, que o cerebelo, em particular o hemisfério cerebelar direito, está relacionado com ajustes temporais, enquanto que o lobo posterior parece ter ligação com funções de ordem superior tais como a atenção e memória de trabalho.

Entretanto, sua participação no reconhecimento do contexto do ambiente parece não ser limitada ao reconhecimento do tempo decorrido ou à velocidade de deslocamento de um objeto. Através de sua circuitaria singular, sugere-se que o cerebelo participe também das funções auditivas e motivacionais (GLICKSTEIN; DORON, 2008). Segundo Stein (1986), para realizar movimentos voluntários complexos, áreas corticais associativas como o córtex parietal posterior, não se projetariam diretamente ao córtex motor, mas utilizariam núcleos pontinos entre o tronco encefálico e o córtex cerebelar lateral para, posteriormente, atingir áreas corticais (córtex motor), subcorticais (tálamo) e medula espinhal. Vale ressaltar que o córtex parietal posterior é uma área associativa e proprioceptiva, ligada à projeções auditivas, visuais, motivacionais e motoras (STEIN, 1986).



### 3.2.2 *Gânglios da base*

Outras estruturas que desempenham importante papel nos processos sensorio-motor, cognitivo, comportamental e emocional são os gânglios da base (GB), constituídos por diferentes núcleos como o estriado, o globo pálido, a substância negra reticulada e compacta, e ainda o núcleo subtalâmico (GROENEWEGEN, 2003; KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003; LEISMAN; MELILLO, 2013; TURNER; DESMURGET, 2010). O núcleo estriado, principal entrada dos GB inclui outras estruturas, como os núcleos caudado, putâmen, accumbens, pálido segmento interno, externo e ventral, além de receber densa projeção de neurônios das áreas corticais e projeções do núcleo talâmico (GROENEWEGEN, 2003; TURNER; DESMURGET, 2010). Posteriormente, seus neurônios projetam-se para o globo pálido interno e para a substância negra reticulada, enviando as principais projeções de saída dos GB (KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003; TURNER; DESMURGET, 2010).

De acordo com Turner e Desmurget (2010), um segundo circuito em paralelo também se projetaria do córtex para os GB e tálamo, e retornaria para o córtex motor, córtex associativo, e áreas límbicas. Diferentes regiões do estriado, globo pálido externo, e núcleo subtalâmico são dedicadas a essas diferentes funções. Os circuitos que se projetam aos córtices motores (ex., circuito esqueleto motor) passam por regiões do ventro-posterior do globo pálido interno. Por outro lado, os circuitos que enviam informações para o córtex pré-frontal (área associativa) ocupam mais as regiões anterior e dorso-medial do globo pálido interno e porções da substância negra reticulada. Vale ressaltar que, a existência de múltiplos circuitos fechados indica que os GB contribuem não somente para o controle do movimento, mas também para diferentes funções, tais como, memória de curto prazo e motivação (LEISMAN; MELILLO, 2013; TURNER; DESMURGET, 2010). De fato, recente revisão realizada por Merchant, Harrington e Meck. (2013) sugeriu que áreas como a área motora suplementar, e o eixo cortico-talâmico-ganglio basal estão comprometidos com a percepção do tempo.

Algumas desordens neurológicas e psiquiátricas estão associadas com os GB, como por exemplo, as doenças de Parkinson e Huntington e a síndrome de Tourette (KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003; TURNER; DESMURGET, 2010). Em sua maioria, tais desordens estão associadas com uma disfunção do estriado, ou seja, quando a principal entrada dos GB é afetada (TURNER; DESMURGET, 2010). As primeiras observações foram realizadas em pessoas portadoras das doenças de Parkinson e Huntington com exames pós-

morte, os quais indicaram que os GB estariam envolvidos no controle e na produção de distúrbios do movimento (KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003). Há evidências de que o estriado possui comunicação com cerebelo, e está envolvido com o controle do movimento, ou em tarefas cognitivas (DREHER; GRAFMAN, 2002; KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003; HOSHI et al., 2005). Desta maneira, é esperado que os GB estejam envolvidos no reconhecimento do ambiente externo e, conseqüentemente, com o contexto no qual o exercício é realizado.

### **3.2.3 Participação dos sistemas proprioceptivo e visual no controle e precisão dos movimentos**

A palavra propriocepção tem origem do latim *proprius* (pertencente a si próprio), que de maneira implícita significa “*os olhos do corpo*”. O sistema proprioceptivo é capaz de nos proporcionar a sensação de espaço e posição dos membros e do corpo como um todo, sem a utilização da visão (KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003; LENT, 2010). Composto pelo sistema vestibular e por três diferentes tipos de *mecanorreceptores* localizados nos músculos e articulações periféricas, o sistema proprioceptivo sinaliza ao SNC a posição estacionária, velocidade e direção dos membros em movimento por meio de: 1) *Fuso muscular*: receptores especializados ao estiramento muscular; 2) *Órgão tendinosos de Golgi*: receptores do tendão que são sensíveis à força de contração e ao esforço exercido por um grupo de fibras musculares; 3) receptores localizados nas cápsulas articulares que são sensíveis à flexão ou extensão da articulação (KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003; LENT, 2010). Além disso, existem também receptores sensíveis ao estiramento da pele que auxiliam nas informações posturais (KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003).

Os mecanorreceptores são inervados por neurônios de primeira ordem, que têm sua inserção na raiz dorsal da medula espinhal, onde seguem sem interrupção até a porção dorsal do bulbo, nos núcleos grácil e cuneiforme. A partir daí, neurônios de segunda ordem cruzam a linha média (decussam) no tronco encefálico e continuam sua projeção ascendente pelo lemnisco medial até atingir o núcleo ventral posterior do tálamo, dando origem aos neurônios de terceira ordem que prosseguem com as informações até o córtex sensorial somático (KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003; LENT, 2010).

Graças ao sistema proprioceptivo, o SNC pode localizar espacialmente a posição dos membros e corpo (KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003). Entretanto, em movimentos que requerem precisão, é necessária a utilização de informações sensoriais providas pelo sistema visual, as quais são integradas no SNC, às informações providas pelo sistema proprioceptivo (LATEINER; SAINBURG, 2003). Através da visão, é possível criar uma impressão do mundo externo, proporcionando o reconhecimento de objetos e eventos, e suas inter-relações com o tempo e o espaço. Tais inter-relações parecem ser importantes em algumas ações motoras, como por exemplo, no controle postural (GOODALE; HUMPHREY, 1998; KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003).

O processamento da informação visual é realizado por diferentes áreas. Inicialmente, foto-receptores da retina, bastonetes e cones respondem ao estímulo da luz, transformando-a em atividade elétrica (SCHWARTZ, 2004). Em seguida, os foto-receptores fazem sinapse com as células bipolares da retina, repassando o estímulo elétrico às células ganglionares da retina. Longos axônios que saem dos olhos formam o nervo óptico (KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003; SCHWARTZ, 2004), o qual é projetado ao núcleo geniculado lateral, responsável por receber cerca de 90% dos axônios da retina e transferir a informação visual para o córtex visual primário. Posteriormente, as informações são enviadas às áreas do córtex extra-estriado, onde atributos tais como movimento e cor são incorporados. Em seguida, tais informações seguem para áreas hierarquicamente superiores, para a combinação da informação visual com a memória e outros sentidos (SCHWARTZ 2004; KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003).

De acordo com Field; Wilkie e Wann (2007), a locomoção e o direcionamento do corpo é possível devido à coordenação entre os sistemas neurais. Uma simples tarefa motora requer a integração entre sistema motor, proprioceptivo e visual (LATEINER; SAINBURG, 2003; RIZZOLATTI; LUPPINO, 2001; SCHEIDT et al., 2005). Estudos que analisam a integração entre informações visual/proprioceptiva, e comando motor, utilizam técnicas de dissociação entre esses sistemas neurais (LATEINER; SAINBURG, 2003). Por exemplo, com o uso de prismas ou de ambientes em realidade virtual, é possível fazer com que indivíduos percebam a localização de partes de seu corpo por meio da localização gerada pela visão (i.e. visualização por um monitor de vídeo), ou por meio da localização gerada pela propriocepção (ROSSETTI et al., 1995; LATEINER; SAINBURG, 2003; SCHEIDT et al., 2005). Evidências sugerem que tais sistemas possam ser dissociados, e que a interpretação consciente da posição espacial do corpo seja indicada principalmente pelo sistema visual, e não pelo sistema proprioceptivo (LATEINER; SAINBURG, 2003).

Um exemplo de dissociação entre sistema proprioceptivo e visual foi oferecido no estudo de Lateiner e Sainburg (2003). Esses autores verificaram se o planejamento do movimento do dedo da mão originava-se da “posição visual” informada pelo sistema visual, ou da “posição real” captada pelo sistema proprioceptivo. Utilizando técnica de realidade virtual, voluntários posicionaram o braço dominante sobre uma superfície horizontal abaixo da altura dos ombros. Um círculo representando o botão de “iniciar”, e um cursor representando a posição do dedo, foram projetados num monitor de vídeo. Um espelho foi posicionado de maneira paralela, abaixo do monitor, refletindo o que era exibido no monitor, porém, iludindo o voluntário quanto à posição real da mão. Sensores fixados na mão e no braço mediram a amplitude do movimento, aceleração e velocidade do cursor em direção ao alvo. Em duas condições experimentais com modificada posição virtual da mão, notou-se uma tendência de queda na amplitude e curvatura do movimento quando comparada ao controle, sugerindo que a projeção visual da posição inicial do cursor induziu mudanças no planejamento dos movimentos. Os resultados suportam a ideia de que a atividade do sistema visual parece predominar, em relação ao sistema proprioceptivo, nos ajustes motores em tarefas deste tipo. Entretanto, como a manipulação de um desses sistemas poderia interferir no controle e ajuste motor durante diferentes exercícios de grande massa muscular ainda é um ponto pouco conhecido.

#### **3.2.4 *O sistema motor e sua integração com as áreas sensório-motoras e visual***

O sistema motor é capaz de transformar informações provenientes dos sistemas sensoriais, tais como o visual e o proprioceptivo, em ações motoras planejadas, coordenadas ou reflexas (KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003; LENT, 2010). Sua organização hierárquica permite que a informação sensorial relacionada ao movimento tenha condições de ser processada em diferentes níveis que operam de maneira paralela (KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003). O córtex motor possui diferentes áreas responsáveis por planejar, executar e coordenar movimentos, como por exemplo, o córtex pré-frontal e a região rostral (RIZZOLATTI; LUPPINO, 2001). Além disso, podem ser destacados os córtices de associação parietal posterior e pré-frontal, córtex motor primário, área motora suplementar, área pré-motora, tronco encefálico e medula espinhal (KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL,

2003). Outras estruturas como o cerebelo e os gânglios da base também regulam o planejamento e a execução do movimento através de suas projeções para o tronco encefálico (KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003).

Segundo Kandel, Schwartz e Jessell (2003), a realização correta e precisa de um movimento depende de uma integração das informações visuais, somatosensoriais, e posturais. Caso o sistema motor seja privado de alguma dessas informações, como por exemplo, no caso do presente estudo com privação de luz ambiente, prejuízos motores podem ocorrer durante a realização do movimento. De acordo com Goodale e Humphrey (1998), um dos papéis da visão é auxiliar no ajuste do movimento e fornecer a informação cognitiva crítica sobre a localização e a forma dos objetos e sua inter-relação com o tempo e espaço.

Rizzolatti e Luppino (2001) expuseram em três passos, a transformação dos sinais sensoriais em ação motora planejada. Em primeiro lugar, a informação visual transformada é integrada ao planejamento da ação motora. Em seguida, áreas motoras que são dotadas de mecanismos de representação da ação motora comparam, momento a momento, a ação planejada com a ação que está sendo realizada a fim de prevenir perturbações externas. Em terceiro lugar, as áreas motoras envolvidas nos processos de decisão são responsáveis pelo início da ação motora. Essa integração do SNC é descrita de forma semelhante na passagem de Kandel, Schwartz e Jessell (2003; p. 317-319.), a qual descreve as etapas do processamento das informações e as áreas que estão envolvidas num simples movimento de um tenista, ao rebater a bola arremessada pelo seu oponente;

[...] a informação visual do movimento de aproximação da bola é processada no sistema visual computando a direção e a velocidade da bola. Em seguida, as informações proprioceptivas são processadas identificando a posição exata dos membros e do tronco do jogador em meio ao espaço. Logo após, o cérebro realiza o planejamento para que o corpo possa ser posicionado de maneira apropriada para rebater a bola. Adicionalmente, as informações aferentes para o comportamento planejado recruta a amígdala (estrutura envolvida com comportamento emocional e social), que por sua vez, prepara o corpo para a ação. As áreas de associação multissensoriais realizam o contato com os centros motores de ordem superior que realizam um programa para movimentar a raquete. Tal programa é realizado pela combinação da informação real com a informação já fixada na memória através de experiências anteriores. Em seguida, tal programa é transferido para o córtex motor primário, que levará as informações necessárias para que os respectivos músculos sejam contraídos ou relaxem numa perfeita sincronia. Mesmo após o início do trabalho muscular, o sistema nervoso continua realizando diversos ajustes finos baseados na informação sensorial de acordo com a trajetória e aproximação da bola.

O papel do sistema visual tem sido reconhecido como importante no planejamento, controle e execução motora (FIELD; WILKIE; WANN, 2007; GOODALE; HUMPHREY, 1998; LAND, 2009). A alteração desta importante via sensorial pode trazer modificações

sobre a noção de tempo e espaço (RIZZOLATTI; LUPPINO, 2001), ocasionando prejuízos nas funções cognitivas do movimento motor voluntário (KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003). Tais alterações durante o exercício poderiam, em última análise, ser acompanhadas por alterações de ordem psicológica, uma vez que algumas destas estruturas cerebrais estão envolvidas em respostas cognitivas como memória e motivação.

### 3.3. A REGULAÇÃO MOTORA E ALGUMAS RESPOSTAS PSICOLÓGICAS DURANTE O EXERCÍCIO - A PERCEPÇÃO SUBJETIVA DE ESFORÇO E O PENSAMENTO ASSOCIADO AO EXERCÍCIO

A escala de PSE elaborada por Borg (1982) foi sugerida como um instrumento de quantificação da sensação do esforço gerado numa determinada tarefa, a qual deve envolver informações fisiológicas e psicológicas (BORG, 1982). Originalmente, a escala de PSE foi criada para representar a integração de múltiplos sinais aferentes, cardiopulmonar e muscular, os quais são influenciados pela intensidade do exercício. De fato, evidências de validade da escala de PSE foram obtidas após comparações das respostas da PSE com as respostas de algumas variáveis cardiopulmonares e musculares, como a frequência cardíaca e as concentrações de lactato sanguíneo, durante exercícios de potência mecânica incremental (BORG, 1982; BORG; LJUNGGREN; CECI, 1985; NOBLE et al., 1983;).

Na teoria tradicional catastrófica, usada para explicar o desempenho durante o exercício físico (HILL; LUPTON, 1923) a PSE representa, quase que exclusivamente, a integração dos eventos fisiológicos ocorridos na periferia do corpo, como por exemplo, as alterações nas concentrações de lactato ou as alterações cardiopulmonares (BORG, 1982). Um ponto importante neste modelo seria que a PSE responderia, exclusivamente, à intensidade do exercício. De fato, Borg e Kaijser (2006), investigando a validade da escala de 15 pontos, observaram que a PSE respondeu em função da intensidade do exercício. Neste mesmo estudo, eles verificaram por meio de um modelo de regressão linear que as alterações na FC conseguiam explicar a maior parte da variância ocorrida na PSE naquele tipo de exercício. Indiretamente, isto serviu de suporte para sugerir que a PSE responde ao nível de estresse metabólico gerado pela intensidade do esforço.

Contudo, há um ponto de divergência quando consideramos a PSE dentro do modelo multilinear/catastrófico. Teoricamente, se a PSE responde essencialmente ao estresse

metabólico derivado da intensidade do exercício, e se ela é influenciada pelo metabolismo periférico, seu aumento progressivo em exercícios constantes deveria ocorrer apenas em intensidades em que o equilíbrio metabólico é perdido; apenas em exercícios realizados acima do segundo limiar metabólico (convencionalmente chamado de limiar anaeróbio). Apenas no domínio severo a PSE apresentaria aumento progressivo em função da duração do exercício, uma vez que nessa intensidade há aumento progressivo em variáveis fisiológicas como lactato e FC. Entretanto, há evidências de que a PSE apresenta aumento progressivo em função do tempo de exercício, mesmo em intensidades abaixo do segundo limiar metabólico, em intensidades de domínio moderado ou pesado (BALDWIN et al., 2003; CREWE; TUCKER; NOAKES, 2008).

Em modelos psicobiológicos do exercício, os quais defendem que o exercício é regulado pelas ações do SNC (LAMBERT et al., 2005; MARCORA; STAIANO, 2010; NOAKES, ST CLAIR GIBSON; LAMBERT, 2004), a PSE ganha uma nova contextualização. A PSE seria modulada em estruturas subcorticais como cerebelo e hipotálamo, a partir de cópias eferentes enviadas do córtex pré-motor ao córtex somatosensorial, com ausência (MARCORA; STAIANO, 2010) ou presença (LAMBERT; ST CLAIR GIBSON; NOAKES, 2005; NOAKES; ST CLAIR GIBSON; LAMBERT, 2004;) da incorporação de sinais aferentes providos pela periferia. Neste segundo caso, informações periféricas como temperatura, concentração de metabólitos (lactato, pH, potássio, entre outros) ou alterações cardiopulmonares (Ventilação,  $VO_2$  e FC) seriam incorporadas às regiões subcorticais para o cálculo da PSE (BUSSE; MAASSEN; KONRAD, 1991; HAMPSON et al., 2001).

Admitindo a participação dos sistemas periféricos na modulação da PSE durante o exercício, assume-se que tais sinais periféricos, que chegam em estruturas como cerebelo e hipotálamo, entre outras, sejam integrados à cópia do comando motor efetor gerada pelo córtex pré-motor. Desta forma, estas informações periféricas seriam supostamente necessárias para a regulação da taxa metabólica e controle do equilíbrio metabólico durante o exercício, e também influenciariam a PSE. Assim, o aumento da PSE indicaria o estado metabólico e a quantidade de reservas de substrato energético disponíveis para a realização do exercício (LAMBERT; ST CLAIR GIBSON; NOAKES, 2005).

Se a suposição da participação das respostas periféricas sobre a PSE estiver correta, o aumento progressivo da PSE observado em exercícios constantes com intensidades abaixo do segundo limiar metabólico poderia indicar a duração em que o exercício pode ser executado sem riscos à integridade celular (LAMBERT; ST CLAIR GIBSON; NOAKES, 2005;

NOAKES, 2004; NOAKES, 2008). Consequentemente, quando a carga de trabalho não pode ser reduzida, como em exercícios de intensidade fixa, o aumento na PSE indicaria o término do exercício antes da ocorrência de falha no equilíbrio metabólico ou depleção completa de reservas energéticas. Assim, o aumento progressivo da PSE seria o resultado do desejo consciente de manter a potência mecânica produzida, indicando o tempo restante em que o exercício ainda pode ser executado dentro de limites seguros para o organismo (LAMBERT; ST CLAIR GIBSON; NOAKES, 2005; NOAKES; ST CLAIR GIBSON, 2004; NOAKES, 2008). Dessa forma, a PSE seria resultante do tempo de esforço numa dada intensidade, e indicaria a proximidade ao ponto final tolerável do exercício (NOAKES, 2008).

A natureza linear da PSE durante exercício constante tem sido descrita em diferentes condições experimentais, como em exercícios realizados em diferentes temperaturas ambientes. Crewe, Tucker e Noakes. (2008) submetem 7 ciclistas a diferentes condições, manipulando a intensidade e a temperatura. As condições foram: em baixa temperatura (15° C), na qual foram realizadas duas condições nas intensidades de 65% (C65) e 70% (C70) da potência de pico (PP). Em alta temperatura (35° C), na qual foram realizadas três condições nas intensidades de 55% (H55), 60% (H60) e 65% (H65) da PP. Em ambas as temperaturas a tarefa foi realizada até a exaustão. Foram analisadas variáveis como PSE, tempo total de exercício, temperatura da pele, temperatura retal, entre outras. Os autores observaram que na condição H65 o tempo de exercício foi significativamente menor quando comparada à condição C65, e os voluntários interromperam o exercício mais cedo. A PSE, quando expressa em % da duração total de exercício, teve um aumento linear, com taxa de aumento similar nas diferentes condições. Crewe et al. (2008) sugeriram que, quando expressa pelo % da duração total de exercício, a PSE aumenta linearmente e sua taxa de incremento indica a proximidade como o ponto de término do exercício.

Outros estudos verificaram um aumento linear da PSE com a duração da tarefa, após manipulação nas reservas musculares de carboidrato (BALDWIN et al., 2003; NOAKES, 2008). Noakes (2004), reinterpretando os dados de Baldwin et al. (2003), verificou que a taxa de incremento da PSE, expressa em % da duração total de exercício, era a mesma quando o exercício constante era realizado sob diferentes concentrações iniciais de glicogênio muscular. Em outro estudo, Eston et al. (2007), supuseram que a PSE poderia ser alterada, quando o exercício fosse precedido por um exercício extenuante. Os autores selecionaram dez ciclistas que, após teste incremental máximo, foram submetidos a exercício de carga constante a 75%  $VO_{2pico}$ . A PSE, quando analisada pela % da duração total de exercício, foi similar quando comparada ao teste controle, sem o teste progressivo máximo prévio.



Tais evidências sugerem que a característica linear da PSE indique o tempo restante de exercício até o alcance do término do exercício (i.e. ponto final) (NOAKES, 2008). Estes resultados poderiam indicar que, apesar da influência da intensidade do exercício sobre a PSE, sua natureza linear é mantida parcialmente independente dela. Isso reforça a suposição de que um sistema regulado centralmente incorpora sinais aferentes da periferia para o cálculo da PSE (HAMPSON et al., 2001; LAMBERT; ST CLAIR GIBSON; NOAKES, 2005; NOAKES; ST CLAIR GIBSON; LAMBERT, 2004), na tentativa de garantir que o exercício seja executado dentro de limites seguros.

Entretanto, é importante ressaltar que outros modelos defendem a ausência da incorporação de informações periféricas para a formação da PSE durante o exercício (MARCORA; STAIANO, 2010). Neste caso, o aumento linear da PSE durante exercício seria o resultado do aumento do comando motor gerado por áreas corticais, na tentativa de sustentar a tarefa.

Independentemente dos mecanismos fisiológicos que participam da geração da PSE, estudos têm demonstrado que a PSE responde com um aumento linear ao longo de diferentes modelos de exercícios, tais como os exercícios fechados por um ponto final previamente conhecido, ou abertos. Curiosamente, entretanto, estes modelos de exercícios possuem características diferentes com relação ao seu modo de execução, o que confere a eles, diferentes características quanto ao ajuste metabólico e regulação do esforço.

### **3.3.1 Respostas da PSE em exercícios abertos e exercícios fechados**

Em competições de ciclismo contra-relógio, os atletas normalmente adotam algum tipo de estratégia ou ritmo de prova (HETTINGA et al., 2009). A estratégia de prova pode ser definida como a variação na produção de potência mecânica (ou velocidade em algumas condições) que ocorre ao longo de um determinado evento, a qual parece ser influenciada pela presença de um ponto final previamente conhecido, caracterizando-se, desta maneira como um exercício fechado (FOSTER et al., 1993; ST CLAIR GIBSON et al., 2006). Tem sido sugerido que a regulação da potência mecânica durante um exercício fechado seja realizada através da integração do *feedback* aferente com o mecanismo da teleantecipação. Nessa integração há a comparação da PSE momentânea do exercício com a PSE esperada pelo

voluntário em diferentes momentos do exercício. Um fato relevante é que tal comparação parece ser influenciada pela experiência prévia do indivíduo no exercício executado, uma vez que a experiência influencia a forma como as alterações fisiológicas (exemplo, redução no nível de glicogênio e alterações na temperatura corporal) e ambientais (exemplo, terreno, clima, etc) podem afetar o esforço percebido no exercício (TUCKER, 2009).

Durante a execução de um exercício fechado, há um aumento progressivo na PSE em direção ao ponto final. Tal elevação na PSE ocorre de forma gradual, de modo que nos primeiros momentos do exercício a PSE não ultrapassa os limites toleráveis, assegurando que um esforço limite seja alcançado apenas próximo do ponto final do exercício (DE KONING et al., 2011; TUCKER, 2009). Caso níveis máximos de PSE tolerável sejam alcançados no decorrer do exercício, antes do alcance do ponto final da tarefa, nota-se uma redução no sinal efetor enviado pelo SNC aos músculos esqueléticos, diminuindo o número de unidades motoras recrutadas, numa tentativa de reduzir a PSE a níveis submáximos toleráveis e assegurar que o exercício seja terminado no menor tempo possível, sem prejuízos à integridade celular (NOAKES; ST CLAIR GIBSON, 2004; TUCKER, 2009).

Tal premissa foi corroborada em estudo realizado por Lander, Butterly e Edwards. (2009), o qual submeteu nove voluntários às seguintes condições durante exercício em remo ergômetro; 1) potência variável: os indivíduos completaram 5 km com intensidade controlada pela PSE (PSE= 15), e podiam variar a potência mecânica; 2) potência fixa: os indivíduos completaram 5 km a uma potência mecânica fixa, equivalente à média da potência alcançada na primeira condição; 3) contra relógio: os indivíduos completaram 5 km no menor tempo possível, e podiam variar a potência mecânica. Foram realizadas medidas de desempenho, tais quais tempo de prova e potência, além de medidas como  $VO_2$ , FC, lactato sanguíneo pré e pós, temperatura da pele, temperatura central, e EMG (bíceps braquial e vasto lateral), e PSE. De mais importante foram os resultados encontrados nas condições 1 e 2. Por exemplo, as concentrações sanguíneas de lactato ficaram mais elevadas na condição 2, quando comparada à condição 1. Embora a temperatura da pele tenha sido similar entre as condições 1 e 2, a temperatura central foi maior na condição 2. De forma semelhante, a EMG da condição 2 foi maior quando comparada a condição 1. Imediatamente pós-exercício a PSE tendeu ser maior na condição 2 (PSE=  $16 \pm 1,9$ ; potência constante) do que na condição 1 (PSE fixa em 15) ( $P= 0,08$ ), indicando que os voluntários perceberam a condição 2, durante a qual a potência mecânica foi mantida constante, como mais desafiadora do que a condição em que o exercício foi executado com PSE fixa, porém, potência flutuante (i.e. condição 1). Esses resultados indicam que a necessidade de manter uma potência fixa na condição 2 gerou maior nível de

estresse psicológico e fisiológico, sugerindo que um exercício com ritmo auto-ajustável pode ser realizado sob níveis mais toleráveis de esforço.

Por outro lado, exercícios abertos são caracterizados pela ausência de um ponto final, uma vez que o seu término depende da tolerância individual ao exercício. Além disso, exercícios abertos são normalmente executados com um ritmo constante, uma vez que o indivíduo necessita manter uma potência mecânica fixa durante e sua execução. Neste tipo de exercício a PSE tem sido sugerida como uma importante ferramenta que o SNC utilizaria para regular o esforço e calcular a duração tolerável de exercício (TUCKER, 2009). Neste caso, um “limite tolerável” seria inconscientemente determinado, assegurando que o exercício termine dentro de limites seguros ao funcionamento do organismo (TUCKER, 2009). Por exemplo, Noakes (2004) verificou a PSE segue um padrão de aumento progressivo e linear, porém com diferentes taxas de incremento, durante exercícios abertos com glicogênio muscular depletado ou repletado previamente, sugerindo que a velocidade de aumento no esforço percebido possa indicar a proximidade com a duração tolerável de exercício.

### ***3.3.2. Manipulações do PAE e suas relações com a PSE e o desempenho motor***

A PSE, convencionalmente obtida por meio da escala de Borg (BORG, 1982), pode ser entendida como a percepção consciente do esforço realizado durante um exercício físico, e está associada a alterações corporais como a sensação de “queimação” muscular, sudorese, elevação da temperatura corporal (central e periférica), aumento da ventilação pulmonar e da FC, entre outras (ST CLAIR GIBSON et al., 2003; TENENBAUM; EKLUND, 2007). Em complemento à medida da PSE alguns estudos têm sugerido a medida do pensamento consciente focado nessas sensações derivadas do exercício, o qual é tratado nesse estudo como pensamento associado ao exercício (PAE) (LOHSE; SHERWOOD, 2011). A medida dos pensamentos associados ao exercício pode fornecer uma ideia sobre o nível de atenção que indivíduo retém sobre as sensações corporais proporcionadas pelo exercício. Vale ressaltar, neste caso, que a medida do PAE fornece o nível de pensamento dissociado do exercício, os quais são caracterizados como pensamentos voltados a atividades cotidianas, sem relação direta com o exercício (LOHSE; SHERWOOD, 2011; TENENBAUM; EKLUND, 2007).

Segundo Tenenbaum e Eklund (2007), há uma correlação positiva entre a intensidade do esforço e os PAE, de modo a sugerir que maiores os PAE são gerados quanto maior é a intensidade do exercício. Tal associação entre PAE e intensidade do exercício permitiu supor que a PSE pudesse ser modificada à medida em que os PAE fossem reduzidos durante o exercício. Por exemplo, alguns estudos verificaram que a manipulação do *feedback* contextual por meio de música ou RV alterava o nível de PAE e, como resultado, a PSE e o desempenho (CARNAÚBA et al., 2011; LIMA-SILVA et. al., 2012; MESTRE; EWALD; MAIANO, 2011).

Em estudo desenhado para verificar a relação entre PAE e PSE, Lohse e Sherwood (2011) analisaram os efeitos do foco associado ao exercício sobre a PSE e o tempo de exaustão numa tarefa de resistência de força em membros inferiores. A tarefa foi constituída de um único exercício de resistência muscular durante o qual os voluntários foram orientados a realizá-lo até a exaustão, em três diferentes condições: a) exercício com foco interno, os voluntários foram orientados a focar mentalmente em seus membros inferiores, tentando deixá-los em paralelo ao solo; b) exercício com foco externo associado ao exercício, os voluntários foram orientados a imaginar linhas entre os joelhos e o quadril, e a manter as linhas imaginárias paralelamente ao solo; c) exercício com foco externo dissociado do exercício, os voluntários foram orientados a imaginar linhas entre travesseiros localizados à frente, na tentativa de retirar a atenção sobre o exercício. Vale ressaltar que nas condições de exercício com foco interno e foco externo associado ao exercício os indivíduos permaneceram com a atenção voltada ao exercício, somente. A PSE foi obtida ao início e término da tarefa. Enquanto o tempo de permanência no exercício foi menor na condição em que a tarefa foi realizada com foco interno, não houve diferença quando o foco externo, dissociado ou associado ao exercício, foi usado. Caso similar ocorreu com a PSE, a qual foi menor quando os voluntários realizaram o exercício com foco externo. Os autores sugeriram que a maior tolerância ao esforço quando houve foco externo, associado ou dissociado ao exercício, foi devida ao menor PAE. Contudo, o tipo de tarefa escolhida limitou maiores inferências sobre o desempenho motor em exercícios dinâmicos de grande massa muscular, como no ciclismo.

Em outro estudo, Schücker et al. (2009) analisaram o efeito do PAE sobre a economia de corrida. Indivíduos correram 30 minutos em esteira rolante, em diferentes condições experimentais que manipulavam os seguintes focos no exercício: foco interno no movimento de corrida (principalmente no movimento dos pés), foco interno na respiração, e foco externo em um vídeo o qual apresentava um corredor num ambiente urbano. A cada 10 minutos os indivíduos eram orientados a mudar o foco manipulado. Resultados gerais indicaram um

aumento da economia de corrida quando o foco externo foi utilizado, ainda que outras variáveis fisiológicas não tenham apresentado diferença entre as condições. Ademais, os indivíduos reportaram menor dificuldade em manter o ritmo de corrida quando o foco externo foi utilizado. De certa forma estes achados corroboram a sugestão de haver melhora no desempenho devido a uma redução no PAE, uma vez que maiores níveis de desempenho estão correlacionados a melhores níveis de economia de corrida. De fato, alguns estudos têm sugerido que estratégias que diminuam os PAE poderiam reduzir a PSE e melhorar o desempenho numa determinada tarefa, pois reduziria as sensações desconfortáveis ocasionadas pelo exercício e possibilitaria um aumento da força ou potência gerada (CARNAÚBA et al., 2011; LIMA-SILVA et. al., 2012). Entretanto, futuros estudos deveriam ser conduzidos para verificar esta relação mais de perto, uma vez que nenhum estudo desenhado para verificar essa relação entre PSE e PAE reportou medidas diretas de desempenho.

É interessante ressaltar que os estudos citados acima utilizaram manobras visuais para manipular o *feedback* contextual e alterar os PAE. Admitindo haver uma relação entre PAE e PSE, e assumindo que a PSE possa servir ao SNC como importante ferramenta para a regulação do esforço, é razoável esperar que manobras visuais que modifique o PAE, também possam alterar a PSE e, como resultado, o desempenho. No caso do presente estudo, seria razoável esperar que a privação de luz possa alterar o foco associado ao exercício (PAE), e gerar efeitos sobre a PSE e o desempenho em ambos os modelos de exercício.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1. AMOSTRA**

A amostra deste estudo foi composta por 11 ciclistas entre 18 e 35 anos de idade, e 12 voluntários fisicamente ativos entre 18 e 35 anos de idade. Os ciclistas tinham, pelo menos, dois anos de experiência em provas de ciclismo do tipo contra-relógio; todos os voluntários da amostra eram do sexo masculino, sem histórico de doenças cardiovasculares, osteoarticulares, metabólicas, visual ou auditiva. Os ciclistas formaram o GEF (grupo exercício fechado), enquanto os fisicamente ativos formaram o GEA (grupo exercício aberto). Todos foram informados sobre os possíveis riscos e benefícios do estudo antes de assinar o termo de consentimento livre e esclarecido. Este estudo obteve aprovação do Comitê de Ética Institucional para a sua execução (04484312.5.0000.0029).

## 5. DESENHO EXPERIMENTAL

No GEF os ciclistas compareceram quatro vezes ao laboratório até a conclusão do estudo. Na primeira visita foram realizadas medidas antropométricas como peso, estatura e dobras cutâneas do peito, abdômen e coxa (Harpندن®, UK), antes da familiarização com as escalas de Borg (BORG, 1982) e Tammén (TAMMEN, 1996) para medidas da PSE e PAE, respectivamente. Em seguida, foi realizado um teste preliminar, um teste incremental máximo (TIM), para a identificação do consumo de oxigênio de pico ( $VO_{2pico}$ ) e da potência mecânica de pico ( $W_{pico}$ ). Na segunda visita, os indivíduos realizaram uma sessão de familiarização no teste de 20 km, com a recomendação de completá-lo no menor tempo possível (tipo contra-relógio). Nesta sessão, foram disponibilizadas informações sobre o tempo gasto e a distância percorrida durante todo o período de exercício. Nas duas últimas visitas foram realizadas as sessões controle e experimental, em ordem balanceada. Os voluntários completaram o teste de 20 km sem qualquer informação do tempo gasto ou da distância percorrida, da seguinte forma: 1) controle: os voluntários realizaram um teste de 20 km em ambiente comum de laboratório, na presença de luz ambiente, natural e artificial; 2) experimental: os voluntários realizaram um teste de 20 km em ambiente com privação total de luz ambiente, natural ou artificial.

Desenho experimental semelhante foi empregado no GEA, porém os voluntários se apresentaram ao laboratório três vezes. Na primeira visita foram realizadas as medidas antropométricas anteriormente citadas, além da familiarização com as escalas de Borg (BORG, 1982) e Tammén (TAMMEN, 1996). Em seguida foi realizado um TIM para a identificação do  $VO_{2pico}$  e  $W_{pico}$ . Nas duas últimas visitas foram realizadas as sessões controle e experimental, em ordem balanceada. Nessas sessões os indivíduos realizaram um TWC até a exaustão, em intensidade de 80% da  $W_{pico}$  atingida no TIM. Nenhuma informação sobre o tempo de exercício (tempo de exaustão) ou intensidade utilizada foi disponibilizada.

Uma bicicleta de ciclismo (Giant®, TCR), equipada com pedivela especial para a aquisição das medidas de potência mecânica (W), velocidade ( $km.h^{-1}$ ) e cadência do pedal (rpm), com frequência de 2 Hz (SRM®, PowerControl 7, USA) foi utilizada para a realização de todos os testes. A bicicleta foi acoplada a um ciclo-simulador (CompuTrainer™ RacerMate® 8000, Seattle WA), o qual foi calibrado antes dos testes de acordo com as recomendações do fabricante. Bancos e pedais adaptados para ciclistas ou não-ciclistas (indivíduos fisicamente ativos) foram utilizados de acordo com o grupo avaliado. Todos os

testes foram executados com um intervalo entre 72 horas e sete dias, para recuperação dos efeitos residuais da fadiga. As sessões foram conduzidas no mesmo horário do dia, com temperatura ambiente controlada. Os voluntários foram orientados à abstenção de ingestão de qualquer tipo de alimento ou bebida que contivesse cafeína (café, chocolate, chá, refrigerantes, etc) e álcool. Em adição, além de ter sido recomendado que os indivíduos evitassem exercícios intensos nas 48 horas que antecederam os testes, os ciclistas foram recomendados a manter as cargas de treinamento (volume, frequência e intensidade semanal) enquanto os indivíduos fisicamente ativos, as rotinas diárias de exercício durante o período em que o estudo foi conduzido.

Para potencializar e isolar os efeitos da privação de luz, voluntários com distintos níveis de treinamento e experiência em exercícios foram recrutados para realizar o exercício fechado (GEF) e aberto (GEA). Alguns estudos verificaram que a experiência pode alterar o desempenho num determinado exercício de ciclismo do tipo contra-relógio (MICLEWRIGHT; JONES; WILLIAMS, 2009; MAUGER; PAPADOPOULO; PARRY, 2009), enquanto outros têm sugerido que a estratégia de prova é definida através de um mecanismo antecipatório, que leva em consideração o conhecimento prévio do ponto final do exercício (TUCKER, 2009). Desta forma, recrutamos ciclistas experientes em provas de ciclismo do tipo contra-relógio, conhecedores da distância a ser completada, para compor o GEF.

Em contraste, indivíduos sem experiência em exercícios executados em ciclo ergômetro foram recrutados, pois evidências sugerem que a experiência visual obtida em tarefas motoras anteriores pode influenciar a variabilidade do gesto motor no ponto final do movimento (CHENG; LUIS; TREMBLAY 2008; JONES; HENRIQUES, 2010). Desta forma, a hipótese era que os efeitos da privação de luz no GEA poderiam ser potencializados em indivíduos sem experiência em exercícios em ciclo ergômetro, tais com o TWC, uma vez que eles não possuiriam um repertório motor capaz de estabelecer, subconscientemente, um consistente ponto final de exercício que não fosse afetado pela privação de luz. Em adição, para evitar a criação de um ponto final subconsciente durante a sessão de familiarização, os indivíduos foram familiarizados apenas com os equipamentos e procedimentos, mas não com o modelo de exercício aberto realizado em carga constante (TWC).



### 5.1. TESTE INCREMENTAL MÁXIMO PRELIMINAR

Antes da realização do TIM preliminar os indivíduos foram familiarizados com a escala de Borg de 15 pontos (BORG, 1982) e a escala de PAE (TAMMEN, 1996). Sobre a escala de PSE, os indivíduos foram orientados a considerar as alterações no trabalho cardiorrespiratório, temperatura corporal, desconforto muscular e geral, quando da classificação do esforço percebido (PSE). Sobre o PAE, os voluntários foram orientados que pensamentos associados ao exercício eram os pensamentos sobre as sensações derivadas do exercício, tais como as alterações na FC, respiração, temperatura, e as alterações na percepção de dor muscular, cansaço, fadiga, etc. De outro lado, pensamentos dissociados do exercício eram pensamentos ligados à vida cotidiana, tais como os pensamentos no trabalho, família, lazer, etc (TAMMEN, 1996).

Após a familiarização com as escalas os indivíduos permaneceram 3 minutos em repouso absoluto, para aquisição das medidas fisiológicas de repouso. Em seguida foi realizado um aquecimento de 7 minutos (5 minutos com potência e cadência de pedal livremente selecionados e 2 minutos em 100 W e pedal entre 80-90 rpm). O TIM foi iniciado imediatamente após o aquecimento, com potência inicial em 100 W, e incrementos de  $25\text{W}\cdot\text{min}^{-1}$  até a exaustão. A exaustão foi determinada quando o indivíduo era incapaz de sustentar uma cadência  $\geq 80$  rpm, após 3 incentivos verbais. Incentivos verbais foram providos para assegurar o alcance de valores máximos.

Durante todo o TIM as medidas de trocas gasosas tais como ventilação (VE), volume de oxigênio consumido ( $\text{VO}_2$ ), volume de dióxido de carbônico produzido ( $\text{VCO}_2$ ) e razão de trocas respiratórias (RER) foram registradas continuamente por meio de uma máscara (Hans Rudolph, Lenexa®, KS, EUA), conectada a um sistema computadorizado de transmissão, para captura imediata das respostas da VE,  $\text{VO}_2$  e  $\text{VCO}_2$ , respiração a respiração (Quark CPET; Cosmed®, Itália). O volume de ar expirado foi mensurado através de um sensor de fluxo bidirecional, calibrado antes do início de cada teste com uma seringa contendo três litros de ar. A fração expirada de  $\text{O}_2$  foi analisada com sensor de zircônio e a fração expirada de  $\text{CO}_2$ , por sensor de infravermelho. Ambos os sensores foram calibrados de acordo com as instruções do fabricante, antes do início de cada teste, utilizando cilindro com concentração conhecida de  $\text{O}_2$  (15,7%) e  $\text{CO}_2$  (5%). Em adição, a FC foi captada por meio de uma cinta torácica, com transmissão instantânea para dispositivo de armazenamento (SRM®,

PowerControl 7, USA) a uma taxa de aquisição de 2 Hz, enquanto a PSE foi obtida ao final de cada estágio.

## 5.2. ANÁLISE DOS DADOS DO TIM

O  $VO_{2\text{pico}}$  foi determinado pela média dos três maiores valores de  $VO_2$  durante o TIM, após conversão dos dados brutos para médias de 10 segundos (WESTON et al., 2002). Os limiares ventilatórios foram determinados pela análise visual dos equivalentes ventilatórios de  $O_2$  ( $VE/VO_2$ ) e de  $CO_2$  ( $VE/VCO_2$ ) (MEYER et.al., 2005). O primeiro limiar ventilatório (LV1) foi determinado na intensidade correspondente ao aumento abrupto no  $VE/VO_2$ , sem aumento no  $VE/VCO_2$ , enquanto o segundo limiar ventilatório (LV2) foi identificado na intensidade em que ocorreu um aumento acentuado no  $VE/VCO_2$ . As frações expiradas de  $O_2$  e  $CO_2$  foram utilizadas em conjunto, para aumentar a confiabilidade na determinação dos limiares (MEYER et.al., 2005). A  $W_{\text{pico}}$  foi identificada na maior  $W$  gerada durante o teste, com correção pelo tempo de permanência em estágio incompleto, quando fosse necessário. Os valores de PSE obtidos ao final do TIM foram utilizados para identificar o máximo de esforço percebido no TWC.

## 5.3. SESSÃO DE FAMILIARIZAÇÃO COM O TESTE DE 20 KM

Os ciclistas realizaram uma sessão com o teste de 20 km, para familiarização com os procedimentos experimentais. Após 3 minutos de repouso absoluto e 7 minutos de aquecimento idêntico ao utilizado no TIM, o teste de 20 km foi imediatamente iniciado. Os ciclistas foram orientados a completar o percurso no menor tempo possível enquanto medidas de  $VE$ ,  $VO_2$ ,  $VCO_2$ , RER, FC,  $W$  e EMG foram registradas continuamente. Informações sobre o tempo gasto e a distância percorrida foram disponibilizadas aos ciclistas em um monitor deixado à frente da bicicleta. Os ciclistas reportaram a PSE e o PAE a cada 2 km percorridos.

#### 5.4. SESSÃO CONTROLE - EXERCÍCIO SEM PRIVAÇÃO DE LUZ

No dia da sessão de exercício controle os voluntários se apresentaram ao laboratório no mesmo horário das sessões anteriores (preliminar e familiarização). Os voluntários foram inicialmente preparados para aquisição das medidas de trocas gasosas (VE, VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub> e RER), FC e EMG. Após preparação aos procedimentos experimentais eles permaneceram em repouso absoluto por 3 minutos e em seguida realizaram aquecimento de 7 minutos, como descrito para o TIM. Imediatamente ao término do aquecimento os indivíduos iniciaram o exercício fechado (teste de 20 km) ou aberto (TWC), respectivamente no GEF ou GEA. Enquanto os ciclistas foram instruídos a completar o teste de 20 km no menor tempo possível, os fisicamente ativos no GEA foram incentivados a sustentar a cadência do pedal em 80 rpm até a exaustão voluntária. Neste caso, o término do exercício no GEA (exaustão) foi determinado quando da incapacidade de sustentar a cadência do pedal  $\geq 80$  rpm, mesmo após encorajamento verbal. Nenhuma informação sobre a distância percorrida ou o tempo gasto nos 20 km (GEF), ou sobre o tempo de permanência no TWC (GEA), foi disponibilizada durante o exercício. Igualmente importante, nenhuma informação que pudesse ser usada para aprimorar a capacidade de prever o ponto final do exercício ou criar um *timer* de exercício foi disponibilizada ao longo do estudo. Desta forma, informações sobre o desempenho no teste de 20 km ou no TWC foram disponibilizadas apenas quando o voluntário finalizou sua participação no estudo.

#### 5.5. SESSÃO EXPERIMENTAL - EXERCÍCIO COM PRIVAÇÃO DE LUZ

Para que as fontes de luminosidade fossem suprimidas, o laboratório onde as coletas foram realizadas foi inteiramente vedado (portas e janelas) com um denso plástico preto. Os computadores ficaram separados do local onde os voluntários realizaram o exercício, por uma densa cortina preta. Todas as lâmpadas dos equipamentos eletrônicos foram vedadas com fita isolante preta. Ao chegar ao laboratório os indivíduos foram inicialmente preparados aos procedimentos experimentais. Em seguida, eles foram posicionados sobre a bicicleta e todas as fontes de luz ambiente ou artificial foram retiradas. Então, após um breve período de acomodação (~ 2 minutos) os indivíduos realizaram 3 minutos de repouso absoluto e 7

minutos de aquecimento, como descrito anteriormente. Imediatamente ao término do aquecimento foi iniciado o teste de 20 km no GEF e o TWC no GEA.

## 5.6. INSTRUMENTOS E MEDIDAS

Para a obtenção das variáveis dependentes do presente estudo os seguintes procedimentos foram adotados ao longo das sessões controle e experimental.

*Potência Mecânica (W):* Em ambos os modelos de exercício, nas sessões controle e experimental, a medida de potência mecânica (W) foi registrada continuamente a uma frequência de 2 Hz, e posteriormente alisada para 1 Hz.

*Variáveis Fisiológicas:* As medidas de trocas gasosas foram obtidas como anteriormente descritas para o TIM preliminar. Brevemente, em ambos os modelos de exercício e condições, os voluntários utilizaram uma máscara conectada a um analisador de gases de sistema aberto para capturar a VE, VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub> e RER, respiração a respiração. Procedimento de calibração padrão, como descrito para o TIM preliminar, foi adotado antes do início de cada teste. Em complemento, a FC foi obtida por dispositivo com taxa de aquisição de 2 Hz.

A EMG durante os exercícios nas sessões controle e experimental foi obtida por um eletrodo de superfície fixado no músculo vasto lateral (VL). Esse músculo foi escolhido por ser considerado um dos motores primários durante a pedalada, tanto em indivíduos treinados (ciclistas), quanto destreinados (fisicamente ativos). Para obtenção do sinal de EMG a pele do voluntário foi previamente preparada (tricotomia, esfoliação e limpeza com álcool isopropílico para diminuir a impedância para valores < 150 Ω, com aplicação de gel condutor) para a colocação de eletrodo de barra bipolar de superfície, com distância inter-eletrodo de 1 cm. O eletrodo foi colocado no maior volume muscular, seguindo a provável orientação das fibras do músculo VL. Para garantir a mesma colocação do eletrodo entre os testes, uma caneta de tinta semi-permanente foi utilizada com base em marcas e cicatrizes existentes. O sinal elétrico do músculo VL foi registrado ao longo de todos os testes a uma taxa de aquisição de 2000 Hz (ganho de 10<sup>3</sup>) (Delsys, Myomonitor® Wireless EMG Systems, USA), e digitalizado e retificado por um cartão A/D de 12 bits. O sinal de EMG do músculo VL foi posteriormente tratado com filtro passa-banda de 2ª ordem, com frequências de corte em 20 Hz e 500 Hz.

*Variáveis Psicológicas:* Devido às diferenças entre os modelos de exercício, a PSE e o PAE foram obtidos a intervalos diferentes entre o teste de 20 km e o TWC. No teste de 20 km os ciclistas foram orientados a reportar a PSE e o PAE a cada 2 km auto-percebidos, enquanto os indivíduos fisicamente ativos reportaram a PSE e o PAE nos instantes solicitados pelo avaliador no TWC. Assim, diferentemente dos ciclistas que reportaram a PSE e o PAE a cada tentativa de identificar a distância percorrida no teste de 20 km (cada 2 km percorridos, os voluntários do GEA reportaram essas medidas a cada 60 segundos durante o TWC, quando da solicitação do avaliador. Esta abordagem foi adotada para permitir: 1) a análise da capacidade de prever a aproximação ao ponto final no teste de 20 km; 2) evitar a criação de um *timer* interno baseado na frequência de aquisição dessas medidas, no teste de 20 km e no TWC. Para que fosse possível obter essas medidas na sessão de exercício em ambiente privado de luz, o avaliador utilizou uma lanterna para iluminar as escalas nos instantes em que as medidas eram obtidas. Nas sessões controle, as escalas foram mantidas longe dos equipamentos que poderiam fornecer informações do tempo de exercício ou distância percorrida.

## 5.7. ANÁLISE DE DADOS

*Desempenho:* O tempo gasto para completar o teste de 20 km (GEF) e o tempo de permanência no TWC (GEA) foram utilizados como medidas de desempenho. Ademais, a potência mecânica média gerada no teste de 20 km, assim como a potência gerada no ponto final desse modelo de exercício, foram usadas junto ao tempo de prova no GEF.

Para analisar se as respostas das variáveis fisiológicas e psicológicas seriam alteradas pela privação de luz, durante a realização ou no ponto final dos exercícios, VE, VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub>, RER, EMG, PSE e PAE foram analisados da seguinte forma: 1) Respostas durante o exercício: a média dos valores gerados durante os 20 km foram utilizados para indicar as respostas durante a execução do exercício no GEF. Diferentemente, as respostas obtidas no mesmo tempo absoluto de exercício, pareado pelo menor tempo de exaustão atingido no TWC, foram usadas para indicar as respostas durante a execução do exercício no GEA; 2) Respostas no ponto final do exercício: em ambos os GEF e GEA, as respostas obtidas ao final

do período de exercício (teste de 20 km e TWC) foram comparadas entre as sessões controle e experimental. A seguir, uma descrição mais detalhada destas análises.

*Variáveis Fisiológicas:* Os dados de VE, VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub> e RER, obtidos respiração a respiração, e os dados de FC obtidos numa frequência de 2 Hz, foram analisados em relação a possíveis *outliers*. Valores  $\geq 3$  desvios-padrão da média local, calculada a partir dos valores contidos a cada intervalo de 60 segundos, foram removidos (BERGER et al., 2006; LAMARRA; WHIPP; WASSERMAN, 1987). A média contida nos últimos 5 segundos do período total de exercício, em ambos GEF e GEA, foram utilizadas para comparar as respostas no ponto final do exercício entre a sessão controle e experimental. Semelhante à análise da W, os valores de VE, VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub>, RER e FC contidos nos últimos 5 segundos do minuto pareado pelo menor tempo de exaustão foram utilizados para comparar as respostas durante o TWC, entre as condições controle e experimental. Para o cálculo da resposta média no teste de 20 km, primeiro calculou-se a média dos últimos 5 segundos de cada 10% da duração total de exercício. Em seguida, a resposta média foi obtida pela média gerada com os valores a cada 10% da duração do teste de 20 km.

Com relação à EMG do músculo VL, o sinal de exercício previamente filtrado foi normalizado pelo sinal capturado nos 30 segundos finais da fase de aquecimento controlado em 100 W. Para análise da EMG no ponto final do exercício no GEF e GEA, utilizou-se a raiz quadrada média (RMS) dos últimos 5 segundos do período total de exercício. Para as análises das respostas da EMG durante o exercício no TWC, utilizou-se a RMS contida nos últimos 5 segundos do minuto pareado pelo menor tempo de exaustão. De outro lado, a RMS dos últimos 5 segundos de cada 10% da duração total de exercício foi usada para o cálculo das respostas médias ao longo do teste de 20 km.

*Variáveis Psicológicas:* A análise da PSE e do PAE no ponto final ou durante o exercício no GEF e GEA foi realizada de seguinte forma. O último valor obtido ao final do exercício foi usado para indicar a PSE e o PAE no ponto final do exercício no GEF e GEA. Para indicar as respostas ao longo do exercício no GEF, foi calculada a média da PSE e do PAE no teste de 20 km. De outro lado, as respostas da PSE e PAE ao longo do exercício no GEA foram assumidas no minuto pareado pelo menor tempo de exaustão no TWC.

Em adição, o coeficiente angular derivado do ajuste linear na relação PSE-distância no teste de 20 km, ou na PSE-tempo no TWC, foi calculado para fornecer a taxa de elevação da PSE ao longo do exercício no GEF e GEA, respectivamente.

*Estratégia de Prova no Teste de 20 km:* Para análise da estratégia de prova adotada no teste de 20 km, dados de W do último segundo a cada 10% do tempo total de exercício foram

plotados em função do percentual da duração total de exercício. Então, valores de W a cada 10% da duração total do teste de 20 km foram comparados entre as condições controle e experimental.

*Erro de Predição da Distância Percorrida no teste de 20 km:* Para avaliar a capacidade dos ciclistas em estimar a distância percorrida no teste de 20 km, calculou-se a diferença entre a distância auto-reportada e a distância real. Em seguida, a diferença entre distância auto-reportada e distância real foi plotado em função da distância real e o coeficiente angular dessa relação foi calculado, indicando a taxa de modificação no erro de predição em função da distância percorrida. Para evitar artefatos matemáticos devido à redução do número de voluntários utilizados no cálculo do erro de predição, ponto a ponto, pontos com valores faltosos foram descartados. Desta forma, os valores de erro de predição foram calculados apenas nos 50% iniciais do teste de 20 km, com a presença de todos os indivíduos em cada ponto calculado.

## 6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

A normalidade dos dados foi previamente verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk. Em virtude das características do presente desenho experimental, com diferentes indivíduos compondo o GEF e GEA, apenas comparações intra-grupo foram realizadas. Dessa forma, as respostas de desempenho entre as condições controle (presença de luz ambiente) e experimental (privação de luz ambiente) foram comparadas dentro de cada grupo por meio de teste *t*-Student para amostras dependentes. De maneira similar, as respostas fisiológicas (VE, VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub>, RER, FC e EMG) e psicológicas (PSE e PAE) obtidas durante o exercício, ou obtidas no ponto final do exercício, foram comparadas entre as condições (controle vs experimental) com teste *t*-Student para amostras dependentes. Ademais, o coeficiente angular obtido na relação PSE-distância no teste de 20 km, ou PSE-tempo no TWC, assim como o coeficiente angular obtido nos dados de erro de predição da distância percorrida no teste de 20 km, também foram comparados entre as condições controle e experimental, dentro de cada grupo, por meio de teste *t*-Student para amostras dependentes.

De outro lado, para analisar se a privação de luz ambiente alteraria a distribuição da potência mecânica ao longo do teste de 20 km (i.e. estratégia de prova), foram utilizados modelos mistos e teste de Bonferroni para comparações múltiplas. Desta forma, após ajuste da matriz de covariância a análise com modelos mistos foi utilizada para identificar possíveis diferenças na *W* a cada 10% da duração total do teste de 20 km, entre as condições controle e experimental. Neste caso, enquanto os percentuais da duração total do exercício (10%, 20%, ... 100%) e as condições (controle e experimental) foram considerados como fatores fixos, os voluntários foram considerados como fator aleatório. Probabilidade de 5% ( $P < 0,05$ ) foi adotada para controlar o erro do tipo I e estabelecer significância em todas as análises.



## 7. RESULTADOS

A caracterização antropométrica dos indivíduos e os principais resultados referentes ao teste incremental máximo preliminar são apresentados na tabela 1. Como pode ser observado, os indivíduos fisicamente ativos do GEA alcançaram 72,2% do  $VO_{2PICO}$  e 71,6% da  $W_{PICO}$  gerados pelos ciclistas do GEF. Contudo, valores semelhantes foram observados para a  $FC_{PICO}$  e a PSE ao final do teste.

Tabela 1 - Caracterização antropométrica e resultados obtidos durante o teste incremental máximo em ambos os grupos exercício fechado (GEF) e exercício aberto (GEA).

Variáveis	GEF	GEA
Idade (anos)	34,9 ± 5,1	25,1 ± 4,9
Estatura (cm)	178,9 ± 5,3	175,7 ± 5,7
Peso (kg)	76,3 ± 8,8	77,8 ± 5,7
Gordura Corporal (%)	10,2 ± 3,6	11,4 ± 4,5
$W_{PICO}$ (W)	366,5 ± 26,1	262,3 ± 39,3
LV1 (W)	231,8 ± 38,9	189,6 ± 39,1
LV2 (W)	302,3 ± 28,4	221,3 ± 32,1
$VO_{2PICO}$ (ml.kg.min <sup>-1</sup> )	48,5 ± 6,2	35,0 ± 4,8
$FC_{PICO}$ (bpm)	180,1 ± 10,5	183,8 ± 12,2
PSE (u.a.)	18,0 ± 1,7	18,2 ± 1,1

Valores expressos em média e desvio padrão (± DP).  $W_{PICO}$  é pico de potência; LV1 é o 1º limiar ventilatório expresso em W; LV2 é o 2º limiar ventilatório expresso em W;  $VO_{2PICO}$  é o pico de consumo de oxigênio;  $FC_{PICO}$  é a frequência cardíaca de pico; PSE é a percepção subjetiva de esforço obtida na  $W_{PICO}$ , em unidades arbitrárias.

### 7.1 GRUPO EXERCÍCIO FECHADO (teste de 20 km)

#### 7.1.1 Desempenho

Como pode ser observado na Figura 1, comparação realizada entre as condições do estudo revelou não ter havido diferença significativa ( $P > 0,05$ ) no tempo para completar o teste de 20 km na condição controle ( $33.1 \pm 1.5$  min) e na condição experimental ( $34.1 \pm 1.9$  min). Similarmente, a potência média gerada ao longo do teste de 20 km não foi diferente entre as condições (Figura 2).

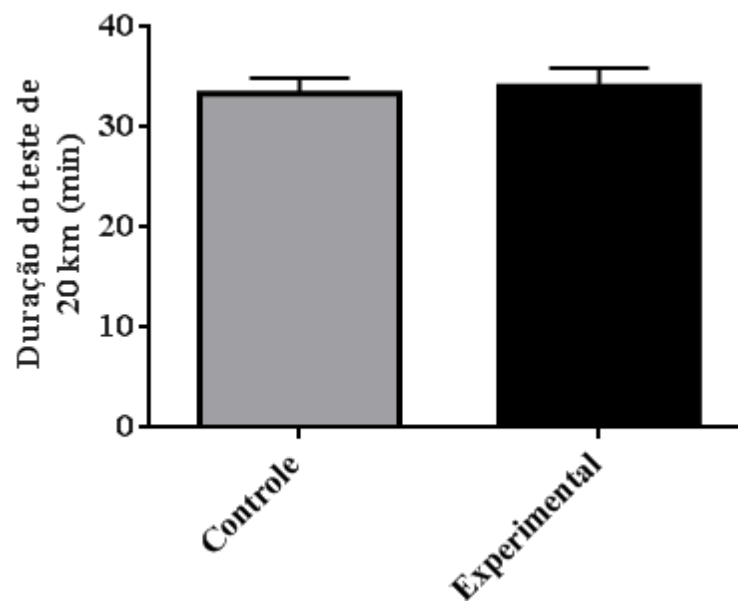


Figura 1 - Duração total do teste de 20 km no GEF executado na condição controle (com presença de luz ambiente) e experimental (com privação de luz ambiente). Nenhuma diferença significativa foi encontrada entre as condições ( $P > 0,05$ ).

### 7.1.2 Respostas fisiológicas

Comparação realizada entre as condições demonstrou maiores valores médios de VE,  $VO_2$ ,  $VCO_2$  e EMG ( $P < 0,01$ ) durante a realização do teste de 20 km, quando este foi realizado na condição controle, em comparação com a condição experimental. Em contraste, não foi observada diferença significativa nos valores médios de RER e FC ( $P > 0,05$ ). A Tabela 2 mostra os resultados durante a fase de execução do exercício.

Quando os valores obtidos no ponto final do teste de 20 km foram comparados, não foram observadas diferenças ( $P > 0,05$ ) na VE,  $VO_2$ ,  $VCO_2$ , RER, FC e EMG entre as condições controle e experimental (Tabela 2).

### **7.1.3 Respostas psicológicas**

Comparação entre a PSE média durante teste de 20 km não demonstrou diferença significativa entre as condições controle e experimental ( $P > 0,05$ ) (Figura 2). Por outro lado, o teste de 20 km na condição controle gerou maior nível de PAE ( $P < 0,01$ ) ao longo do exercício, quando comparado à condição experimental (Tabela 2).

Quando analisados os valores das variáveis psicológicas obtidas no ponto final do teste de 20 km, não foram observadas diferenças significantes ( $P > 0,05$ ) na PSE ou no PAE entre as condições controle e experimental.

Quando analisada a taxa de incremento da PSE, não foi observada diferença significativa ( $P > 0,05$ ) entre a condição controle ( $PSE_{SLOPE} = 0,07 \pm 0,02$ ) e a condição experimental ( $PSE_{SLOPE} = 0,08 \pm 0,03$ ).

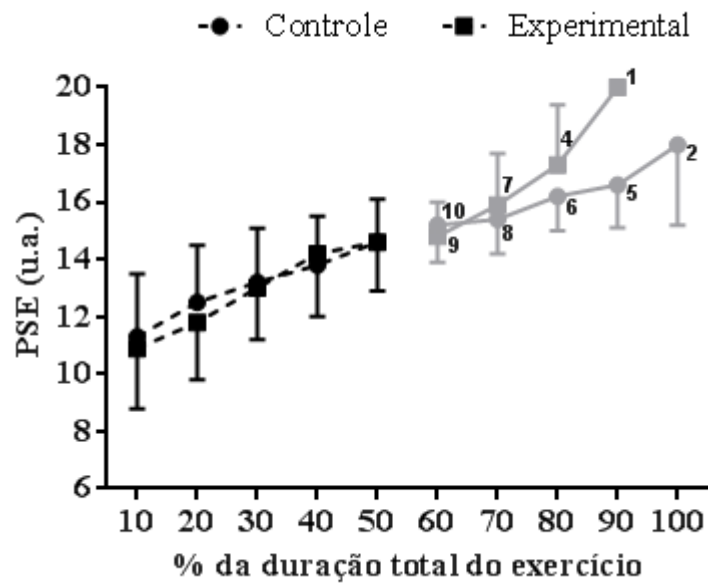


Figura 2 - Percepção Subjetiva de Esforço (PSE) durante o teste de 20 km no GEF na condição controle (com presença de luz ambiente) e experimental (com privação de luz ambiente). Linha tracejada preta indica que os valores médios de PSE foram obtidos com todos os voluntários (n= 11). Linha contínua cinza indica que os valores médios de PSE foram obtidos com valores faltosos.

Tabela 2 - Respostas da potência mecânica, fisiológicas e psicológicas durante a realização e ao ponto final do teste de 20 km executado pelo GEF, nas condições controle e experimental.

<b>Fase do Exercício</b>	<b>Variável</b>	<b>Controle</b>	<b>Experimental</b>	<b>P</b>
<i>Durante</i>	W	235,3 ± 26,9	227,9 ± 26,7	0,17
	VE (l.min <sup>-1</sup> )	120,3 ± 3,0	112,8 ± 4,8	0,00
	VO <sub>2</sub> (ml.kg.min <sup>-1</sup> )	40,1 ± 5,0	37,7 ± 5,6	0,00
	VCO <sub>2</sub> (l.min <sup>-1</sup> )	3,24 ± 0,07	3,06 ± 0,08	0,00
	RER	1,07 ± 0,6	1,06 ± 0,7	0,65
	FC (bpm)	163,9 ± 4,8	160,9 ± 12,1	0,25
	EMG (RMS)	1,6 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,00
	PSE (u.a)	14,3 ± 1,7	14,7 ± 2,8	0,35
	PAE (%)	83,4 ± 1,42	77,4 ± 2,07	0,00
	<i>Ponto Final</i>	W	212,5 ± 30,	221,5 ± 35,1
VE (l.min <sup>-1</sup> )		115,0 ± 27,9	108,6 ± 7,3	0,37
VO <sub>2</sub> (ml.kg.min <sup>-1</sup> )		37,9 ± 3,8	35,9 ± 5,8	0,28
VCO <sub>2</sub> (l.min <sup>-1</sup> )		2,9 ± 0,1	2,71 ± 0,1	0,23
RER		1,02 ± 0,8	1,01 ± 0,7	0,68
FC(bpm)		165,5 ± 17,1	167,0 ± 19,0	0,69
EMG (RMS)		1,2 ± 0,2	1,3 ± 0,4	0,37
PSE (u.a)		16,5 ± 1,7	15,6 ± 2,0	0,13
PAE (%)		84,5 ± 14,2	76,0 ± 23,2	0,75

Condição controle, com presença de luz ambiente; condição experimental, com privação de luz ambiente. Valores expressos em média e desvio padrão ( $\pm$  DP). Resposta durante o exercício foi obtida pela resposta média durante a realização do teste de 20 km. Resposta final significa a média dos últimos 5 segundos do teste de 20 km.

#### **7.1.4 Estratégia de prova no teste de 20 km**

A distribuição da potência mecânica ao longo do teste de 20 km foi similar entre as condições controle e experimental, mostrando-se relativamente constante ao longo do teste (Figura 3). Como resultado, não foi observado efeito do tempo ou da condição ( $P > 0,05$ ) sobre os dados de potência expressos a cada 10% do teste de 20 km ( $P > 0,05$ ). De maneira semelhante, os valores de potência gerada no ponto final do teste de 20 km (i.e. 100% da

duração total) também não foram diferentes entre as condições controle e experimental ( $P > 0,05$ ) (Tabela 2).

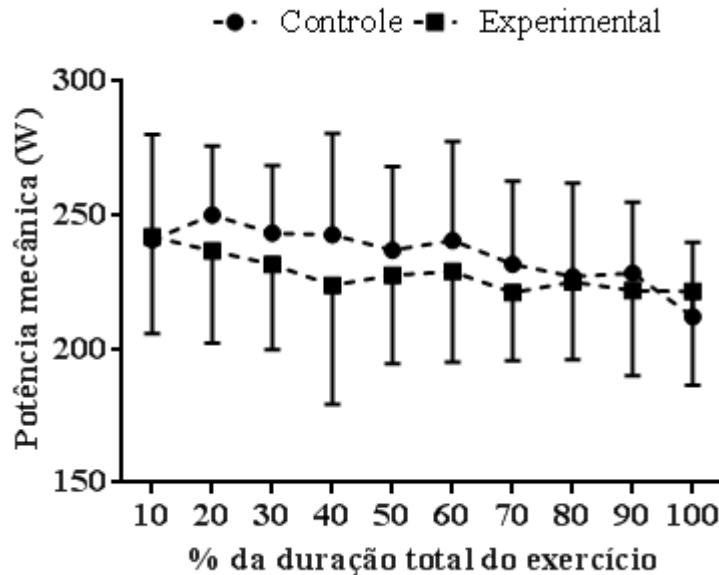


Figura 3 - Potência mecânica gerada ao longo do teste de 20 km no GEF na condição controle (com presença de luz ambiente) e experimental (com privação de luz ambiente). Nenhum efeito do tempo, condição ou interação foi detectado ( $P > 0,05$ ).

### 7.1.5 Erro de predição da distância percorrida no teste de 20 km

Análises do erro de predição da distância percorrida durante o teste de 20 km demonstraram que os ciclistas aumentaram, progressivamente, o erro de predição da distância real percorrida na condição experimental em ambiente privado de luz ( $\text{Erro}_{\text{SLOPE}} = 0.5 \pm 0.3 \text{ km.km}^{-1}$ ), assim como na condição controle com presença de luz ( $\text{Erro}_{\text{SLOPE}} = 0.3 \pm 0.3 \text{ km.km}^{-1}$ ) (Figura 4). Entretanto, ainda que sem significância ( $P > 0,05$ ), a condição experimental em ambiente privado de luz gerou maior média de erro preditivo ( $2,8 \pm 1,8 \text{ km}$ ) quando comparada à condição controle com luz ambiente ( $1,7 \pm 1,1 \text{ km}$ ).

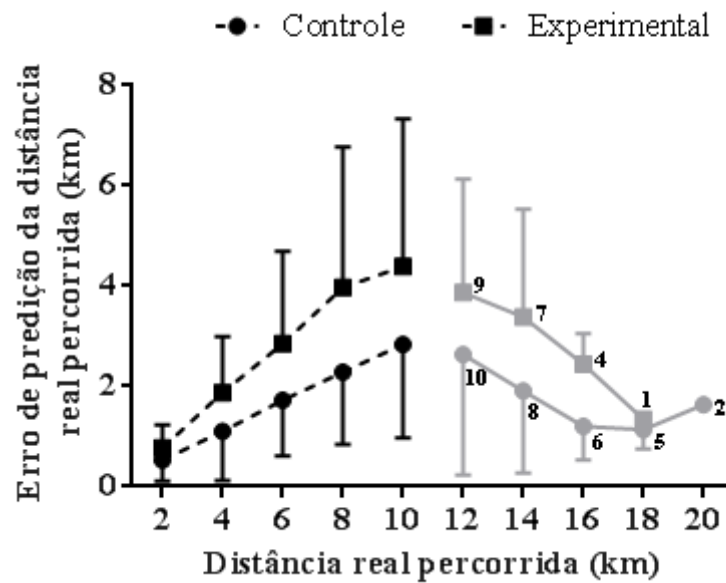


Figura 4 - Erro de previsão da distância real percorrida durante o teste de 20 km no GEF, na condição controle (com presença de luz ambiente) e experimental (com privação de luz ambiente). Linha tracejada preta indica que a média do erro de previsão da distância real percorrida foi obtida com todos os voluntários ( $n=11$ ). Linha contínua cinza indica que a média do erro de previsão da distância real percorrida foi obtida com valores faltosos.

## 7.2 GRUPO EXERCÍCIO ABERTO (TWC)

### 7.2.1 Desempenho

O tempo de exaustão do exercício realizado à 80% da  $W_{PICO}$  (Figura 5) foi significativamente menor ( $P < 0,05$ ) na condição experimental quando comparado à condição controle. Desta forma, a duração total do TWC foi reduzida em ambiente privado de luz ( $5.0 \pm 1.6$  min), em comparação à condição controle ( $6.4 \pm 2.4$  min).

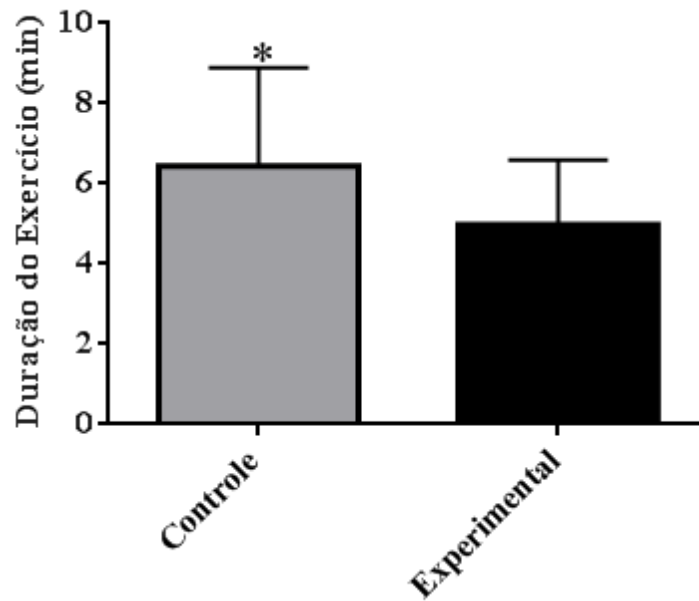


Figura 5 - Duração total do teste de carga constante (TWC) no GEA executado na condição controle (com presença de luz ambiente) e experimental (com privação de luz ambiente). \* indica diferença significativa entre as condições ( $P < 0,05$ ).

### 7.2.2 Respostas fisiológicas

Analisando as respostas fisiológicas durante a realização do TWC, exatamente no tempo de exercício pareado pelo menor tempo de exaustão (i.e.  $5.0 \pm 1.6$  min), foi possível verificar que o ambiente privado de luz (condição experimental) induziu maior  $VO_2$  ( $P < 0,05$ ) do que na condição controle. Entretanto,  $VE$ ,  $VCO_2$ , RER, FC e EMG do VL não foram diferentes entre as condições ( $P > 0,05$ ) (Tabela 3).

Quando os dados foram analisados em relação ao ponto final do TWC, em ambas as condições (i.e. na exaustão), foi observada menor EMG do VL na condição experimental do que na condição controle ( $P < 0,05$ ). Contudo, não houve diferença significativa entre as condições, quando analisados  $VE$ ,  $VO_2$ ,  $VCO_2$ , RER e FC ( $P > 0,05$ ), obtidos no ponto final do TWC (Tabela 3).



### 7.2.3 Respostas psicológicas

Análises das respostas psicológicas durante a realização do TWC, no tempo pareado pelo menor tempo de exaustão (i.e.  $5.0 \pm 1.6$  min), mostraram que a PSE foi maior na condição experimental com privação de luz ambiente ( $P < 0,05$ ), quando comparada à condição controle (Tabela 3). Entretanto, não foi observada diferença significativa para o PAE ( $P > 0,05$ ) entre as condições no tempo pareado.

De outro lado, quando os valores de PSE e PAE do ponto final do exercício (i.e. exaustão) foram analisados, não foram observadas diferenças significantes nestas variáveis ( $P > 0,05$ ), entre as condições controle e experimental com privação de luz, no TWC (Tabela 3).

Quando analisada a taxa de incremento da PSE, observou-se maior taxa de elevação na condição experimental com privação de luz ambiente ( $PSE_{SLOPE} = 0,30 \pm 0,13$ ), em comparação à condição controle ( $PSE_{SLOPE} = 0,24 \pm 0,07$ ) ( $P < 0,05$ ).

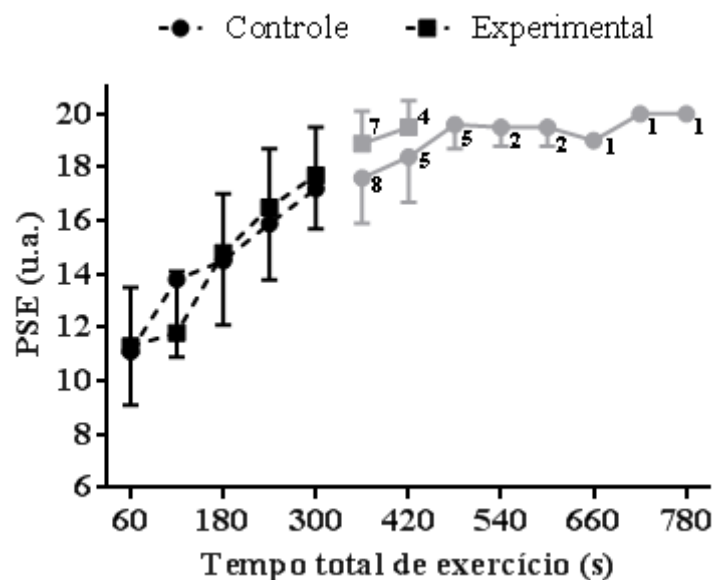


Figura 6 - Percepção Subjetiva de Esforço (PSE) durante o teste de carga constante (TWC) no GEA na condição controle (com presença de luz ambiente) e experimental (com privação de luz ambiente). Linha tracejada preta indica que os valores médios de PSE foram obtidos com todos os voluntários ( $n = 11$ ). Linha contínua cinza indica que os valores médios de PSE foram obtidos com valores faltosos.

Tabela 3 - Respostas fisiológicas e psicológicas durante a execução e ao ponto final do teste de carga constante (TWC) realizado pelo GEA nas condições controle e experimental.

<b>Fase do Exercício</b>	<b>Variável</b>	<b>Controle</b>	<b>Experimental</b>	<b>P</b>
<i>Durante</i>	VE (l.min <sup>-1</sup> )	115,9 ± 32,6	128,1 ± 16,1	0,26
	VO <sub>2</sub> (ml.kg.min <sup>-1</sup> )	32,3 ± 3,4	35,6 ± 4,2	0,02
	VCO <sub>2</sub> (l.min <sup>-1</sup> )	3,40 ± 0,8	3,63 ± 0,5	0,24
	RER	1,23 ± 0,7	1,26 ± 0,7	0,24
	FC (bpm)	174,5 ± 12,0	176,2 ± 15,2	0,51
	EMG (RMS)	1,9 ± 0,4	1,7 ± 0,5	0,18
	PSE (u.a.)	17,4 ± 1,7	18,7 ± 1,8	0,03
	PAE (%)	86,7 ± 10,7	93,3 ± 10,7	0,14
<i>Ponto Final</i>	VE (l.min <sup>-1</sup> )	130,7 ± 20,9	128,1 ± 16,1	0,25
	VO <sub>2</sub> (ml.kg.min <sup>-1</sup> )	34,6 ± 4,9	35,6 ± 4,2	0,33
	VCO <sub>2</sub> (l.min <sup>-1</sup> )	3,61 ± 0,5	3,63 ± 0,5	0,22
	RER	1,24 ± 0,7	1,26 ± 0,7	0,62
	FC (bpm)	178 ± 13,9	176 ± 15,2	0,64
	EMG (RMS)	2,3 ± 0,7	1,7 ± 0,5	0,03
	PSE (u.a.)	18,8 ± 1,3	18,7 ± 1,8	0,69
	PAE (%)	92,5 ± 9,7	93,3 ± 10,7	0,86

Valores expressos em média e desvio padrão (± DP). Resposta durante o exercício foi obtida no tempo de exercício pareado pelo menor tempo de exaustão registrado (i.e. na condição experimental). Resposta do ponto final significa a média dos últimos 5 segundos do exercício.

## 8. DISCUSSÃO

No presente estudo a hipótese central era que o desempenho em exercícios considerados fechados ou abertos seria afetado pela privação de luz ambiente. Os principais achados do presente estudo foram que: 1) a privação de luz não alterou o tempo gasto para completar o teste de 20 km (GEF), apesar dos menores valores de  $VO_2$  e EMG observados quando comparados à condição controle. Nesta condição com privação de luz, os ciclistas apresentaram menor pensamento associado às sensações do exercício (PAE); 2) houve uma perda progressiva na capacidade de prever o ponto final (i.e. a distância percorrida) no teste de 20 km em ambiente com privação de luz; 3) De outro lado, a privação de luz prejudicou o desempenho no GEA, durante o TWC, induzindo uma maior resposta fisiológica ( $VO_2$ ) e psicológica (PSE) durante o exercício. Em adição, houve uma maior taxa de incremento na PSE em ambiente privado de luz; 4) Apesar do menor tempo de exaustão quando o TWC foi realizado em ambiente privado de luz, as respostas fisiológicas e psicológicas tais como VE,  $VO_2$ ,  $VCO_2$ , RER, FC, PSE e PAE, obtidas no ponto final do exercício (i.e. exaustão), não foram diferentes das observadas em ambiente controle. Entretanto, o menor tempo de exaustão na condição experimental foi acompanhado por uma menor EMG do músculo VL. A discussão a seguir aborda esses achados de acordo com o grupo estudado.

### 8.1 EFEITOS DA PRIVAÇÃO DE LUZ NO EXERCÍCIO FECHADO (TESTE DE 20 KM)

Resultados do presente estudo mostram que a privação de luz não influenciou o desempenho num exercício fechado, pois o tempo para completar o teste de 20 km não foi diferente entre as condições, apesar do aumento progressivo no erro de predição da distância completada. Além disso, a presença ou ausência de luz não pareceu ser essencial para alterar a estratégia de prova adotada, uma vez que os ciclistas desse estudo adotaram um perfil linear na distribuição da potência mecânica, sem a presença de um *sprint* final, em ambas as condições estudadas. Utilizando abordagem experimental semelhante, Kriel et al. (2007) também verificaram que a privação de luz ambiente não alterava o desempenho e a estratégia de prova durante um teste de ciclismo de 40 km. Ambos os resultados poderiam corroborar um modelo baseado no conceito de

“relógio biológico interno”. Na perspectiva desse modelo de regulação central do esforço, o “relógio biológico interno” poderia ter incorporado, em nível subconsciente, sinais cíclicos providos por diferentes partes da perifeira do corpo, para avaliar a distância completada e estimar o ponto final do exercício, mesmo quando houve privação de luz ambiente (KRIEL et al., 2007; ST CLAIR GIBSON et al., 2006). Nesta perspectiva, as respostas de diferentes variáveis fisiológicas e mecânicas como, por exemplo, FC e cadência de pedalada, respectivamente, poderiam ter sido incorporadas ao “relógio interno” e possibilitado o cálculo da aproximação com o ponto final do exercício. Desta forma, os indivíduos foram capazes de estabelecer uma única estratégia de prova (i.e. ajuste da potência mecânica), similar entre as condições com privação (i.e. experimental) ou presença (i.e. controle) de luz ambiente, de acordo com a relação entre o gasto energético e as reservas corporais de energia (ST CLAIR GIBSON et al., 2006).

Apesar de não ter sido observada diferença significativa no desempenho, como indicado pela ausência de diferença no tempo gasto para completar o teste de 20 km ou na potência média gerada no teste, foram encontradas diferenças significantes em variáveis fisiológicas como VE,  $VO_2$ ,  $VCO_2$  e EMG. Uma justificativa direta desses resultados é dificultada pela ausência de estudos que tenham utilizado abordagem experimental semelhante. Pelo menos no nosso conhecimento, no único estudo que verificou os efeitos da privação de luz no desempenho em exercício fechado, nenhuma variável fisiológica foi medida (KRIEL et al., 2007). Desta forma, a verdadeira causa da maior resposta fisiológica observada na condição controle ainda necessita de verificação.

Entretanto, é possível que estes resultados sejam explicados por uma integração entre as respostas fisiológicas e psicológicas durante o exercício. Estudo realizado por Marchant, Greig e Scott (2008) verificou os efeitos de diferentes PAE sobre a EMG do bíceps braquial e o torque gerado num exercício de flexão de cotovelo em dinamômetro isocinético: PAE com foco interno (i.e. pensamento nos músculos do braço) e externo (i.e. pensamento no movimento da barra) foram manipulados. Os autores observaram que a EMG foi significativamente maior quando os voluntários foram orientados a empregar um PAE com foco nos músculos do braço (i.e. interno), quando comparado ao PAE com foco no movimento da barra (i.e. externo). Contudo, o torque foi significativamente maior quando o PAE focou no movimento da barra. Os autores sugeriram que essa diferença entre EMG e torque gerado entre as condições possa ter ocorrido devido ao foco interno ocasionar um aumento do “ruído” no sistema motor, quantificado através da EMG. No entanto, o maior ruído no sistema motor não teria sido capaz de alterar a força produzida.

Empregando essa mesma lógica, poderíamos sugerir uma possível associação entre as respostas de EMG e PAE em nosso estudo. Nesse caso, a maior EMG observada ao longo do teste

de 20 km na condição controle, poderia ter sido causada por um maior ruído gerado sobre o sistema motor, causado pelo maior PAE nessa condição. Como resposta a uma maior EMG, maiores respostas de VE, VO<sub>2</sub> e VCO<sub>2</sub> foram geradas. Resultados de Kal, van der Kamp e Houdijk (2013) podem corroborar esta hipótese, pois demonstraram menor automatização e fluência do movimento quando os voluntários foram orientados a aumentar o foco interno, em comparação ao foco externo. Desta forma, o maior PAE na condição controle pode estar associado a uma menor automatização do movimento da pedalada, induzindo assim, a maiores respostas cardiopulmonares ao longo do teste de 20 km. Contudo, essa sugestão ainda aguarda confirmações experimentais mais consistentes, uma vez que não usamos estratégias para direcionar diferentes PAE em nosso estudo.

A ausência de diferença significativa sobre a PSE entre as condições controle e experimental poderia estar alinhada ao ponto de vista de Tenenbaum e Eklund (2007), os quais sugerem que a PSE está ligada ao PAE. Analisando nossos resultados de PSE e PAE, encontramos uma redução significativa no nível de PAE quando os ciclistas realizaram o teste de 20 km em ambiente com privação de luz. Admitindo existir uma relação entre PSE e PAE, talvez nossos resultados possam sugerir que os indivíduos tenham adotado diferentes estratégias baseadas no foco retido sobre o exercício (i.e. PAE), como uma tentativa de manter um mesmo nível de PSE tolerável durante os exercícios no claro e escuro, evitando que a fadiga fosse instalada de forma precoce, antes do término do teste (TUCKER, 2009).

Independentemente da condição estudada, o erro preditivo da distância real aumentou linearmente com a progressão do teste de 20 km. Como indicado pelo ERRO<sub>SLOPE</sub>, a capacidade de calcular a distância completada foi prejudicada em ambas as condições, pelo menos para os primeiros 50% do teste de 20 km. A ausência de luz em nossa abordagem experimental prejudicou, progressivamente, a identificação consciente do ponto final no teste de 20 km. Entretanto, ainda que sem significância estatística, a capacidade de monitorar a passagem da distância foi mais prejudicada no ambiente privado de luz, como indicado pela maior média do erro de predição da distância. Infelizmente, não é possível saber ao certo quais fatores contribuíram para uma piora na predição da distância percorrida na condição experimental sem luz ambiente. É possível que o monitoramento da distância percorrida possa ter sido prejudicado devido à perda de orientação espacial e/ou ao aumento do grau de incerteza ocasionado pelo escuro, já que o sistema visual desempenha importante papel na relação de tempo e espaço e suas interações com o meio ambiente (GOODALE, HUMPHREY, 1998; SAFRANOV, 2009).

De outro lado, nossos resultados corroboram parcialmente a sugestão de estudos anteriores, os quais demonstraram que o conhecimento preciso da distância completada não era essencial para

o desempenho em provas de ciclismo do tipo contra-relógio (ALBERTUS et al., 2005; MICKLEWRIGHT; PAPADOPOULOU; PARRY, 2009; WILLIANS; BAILEY, MAUGER, 2012). Quando comparadas às condições controle, sem a presença de informações de tempo e distância (i.e. *feedback*), as manipulações das informações contextuais aumentaram a predição consciente do ponto final em exercícios fechados. Contudo, não está certo que esta melhora na predição consciente do ponto final do exercício possa ser traduzida diretamente para um aumento no desempenho (MAUGER; JONES; WILLIANS, 2009; ST CLAIR GIBSON et al., 2006). De fato, alguns estudos reportaram que o desempenho em exercícios fechados não se alterou quando os participantes receberam informações imprecisas sobre o tempo e a distância completada (ALBERTUS et al., 2005; KRIEL et al., 2007). A principal justificativa pela ausência de efeitos sobre o desempenho e estratégia de prova, mesmo quando informações imprecisas sobre o tempo e a distância são fornecidas, recaem sobre as ações de um “relógio biológico interno”, o qual utilizaria informações aferentes periféricas para calcular o gasto energético da tarefa em relação às reservas corporais de energia, permitindo assim, o alcance do ponto final de forma eficiente (ROELANDS et al., 2013; ST CLAIR GIBSON et al., 2006). Entretanto, não se conhece como diferentes estímulos externos que atuam sobre sistema visual, tais como fluxo óptico, realidade virtual e privação de luz, podem influenciar o funcionamento desse ajuste central e afetar o desempenho em exercícios fechados, como os testes de ciclismo do tipo contra-relógio (PARRY; CHINNASAMY; MICKLEWRIGHT, 2012; STONE et al., 2012). Estudos mecanicistas são necessários para um melhor entendimento desse modelo teórico.

Similar ao encontrado em estudo de Kriel et al. (2007), os ciclistas desse estudo adotaram um perfil linear, sem *sprint* final, para distribuir a potência mecânica ao longo do teste de 20 km. Ambos os resultados podem sugerir que o conhecimento consciente do ponto final em teste de ciclismo do tipo contra-relógio determina a presença de um *sprint* final, ao menos em distâncias intermediárias entre 4 km e 40 km. De fato, estudos que demonstram uma estratégia de prova com presença de *sprint* final forneceram diferentes tipos de *feedback*, o que poderia ter permitido aos voluntários a identificação consciente do ponto final do exercício (ALBERTUS et al., 2005; STONE et al., 2012; WILLIANS; BAILEY; MAUGER, 2012).

Alguns aspectos metodológicos deveriam ser destacados. Primeiramente, por razões matemáticas, não foi possível calcular o erro de predição da distância completada após os 50% do teste de 20 km, uma vez que as médias do erro preditivo seriam obtidas a partir de um número de voluntários cada vez menor, ponto a ponto. Esta redução no número de voluntários, ponto a ponto, poderia gerar um artefato matemático, reduzindo “artificialmente” os valores médios. Por esse motivo, o  $ERRO_{SLOPE}$  foi calculado com base nos valores obtidos até os primeiros 50% do teste

de 20 km. Adicionalmente, todas as suposições deste estudo foram baseadas em resultados obtidos com o teste contra-relógio realizado em bicicleta estacionária. Enquanto a predição da distância completada pode ser incomum com a utilização de um equipamento estacionário, no melhor de nosso conhecimento, não há outra abordagem experimental para investigar os efeitos da privação de luz sobre o desempenho em ciclismo.

## 8.2 EFEITOS DA PRIVAÇÃO DE LUZ NO EXERCÍCIO ABERTO (TWC)

Recentes estudos têm demonstrado que a informação visual pode afetar a PSE e o desempenho durante o exercício (MESTRE; EWALD; MAIANO, 2011; PARRY; CHINNASAMY; MICKLEWRIGHT, 2012). Por exemplo, Parry, Chinnasamy e Micklewright (2012) observaram que os voluntários reportaram menores valores de PSE quando imagens eram projetadas de forma mais lenta durante o exercício. Nesse estudo, um resultado interessante foi a diminuição da PSE que ocorreu mesmo com a produção de uma maior potência mecânica durante o exercício, quando comparado ao controle. Usando abordagem com privação de luz, nossos resultados demonstraram que a ausência de luz aumentou a taxa de incremento da PSE e reduziu o tempo de exaustão durante um exercício do tipo aberto. Juntos, esses resultados podem ser interpretados de acordo com o modelo de “relógio biológico interno”, no qual a máxima PSE tolerável foi definida antecipadamente, e progrediu até o alcance do ponto final do exercício, subconscientemente criado para evitar riscos à integridade do organismo (LAMBERT; ST CLAIR GIBSON; NOAKES, 2005; TUCKER, 2009; ST CLAIR GIBSON et al., 2006).

As respostas fisiológicas e psicológicas obtidas no ponto de exaustão do TWC podem oferecer sugestão adicional ao modelo de “relógio biológico interno”. Os resultados em ambas as condições com presença (i.e. controle) e ausência de luz (i. e. experimental) mostraram que o exercício foi finalizado com um nível similar de distúrbio fisiológico e psicológico, pois VE, VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub>, RER, FC, PSE e PAE do ponto de exaustão não foram estatisticamente diferentes entre as condições controle e experimental. Contudo, como indicado pelo PSE<sub>SLOPE</sub>, houve maior taxa de elevação na PSE durante a realização do exercício na condição experimental, quando comparada à condição controle. Juntos, resultados obtidos durante a execução e no ponto final do TWC poderiam sugerir que a privação de luz ambiente acelerou o “relógio interno”, até o alcance de um limite máximo tolerável de esforço durante o exercício. De fato, quando comparou-se as respostas

obtidas entre as condições, no tempo de exercício pareado pelo menor tempo de exaustão obtido entre as condições (i.e. na exaustão da condição experimental;  $5.0 \pm 1.6$  min), foi possível observar uma maior resposta no  $VO_2$  e PSE quando o TWC foi realizado em ambiente privado de luz. É possível que a falta de luz ambiente tenha aumentado o período de incerteza do exercício, acelerando a contagem do tempo pelo “relógio interno” e aumentando as respostas fisiológicas e psicológicas do exercício. Consequentemente, a maior incerteza gerada durante o exercício realizado com privação de luz pode ter acelerado o alcance do ponto final do TWC, para preservar a integridade do organismo. A incerteza causada pela privação de luz poderia ter tornado os indivíduos menos econômicos (BADEN et al., 2005), como sugerido pela maior relação  $VO_2$ -EMG observada na condição experimental, para o mesmo tempo de exercício. Como resultado, um maior *feedback* aferente e um estado metabólico menos econômico podem ter aumentado a taxa de elevação da PSE e diminuído o tempo de exaustão, deste modo, preservando o corpo de um possível distúrbio fisiológico que gerasse riscos a sua integridade.

Diferentemente dos ciclistas, não houve diferença nos níveis de PAE quando os voluntários fisicamente ativos realizaram o TWC na condição experimental ou controle. Talvez a resposta do PAE seja dependente do nível e histórico de treinamento físico. Nesse caso, talvez indivíduos menos treinados não sejam capazes de alterar o nível de pensamento retido nas sensações derivadas do exercício, quando o exercício é realizado em ambientes diferentes. No entanto, esta sugestão deve ser interpretada com cautela, outras abordagens experimentais são necessárias para esclarecer melhor os mecanismos envolvidos no PAE durante exercícios realizados em ambientes com privação de luz.

Dada a característica deste estudo, alguns aspectos da presente discussão merecem ser destacados. Ao longo desse trabalho utilizamos o conceito de “relógio biológico interno”, o qual sugere a existência de uma regulação central do exercício (LAMBERT; ST CLAIR GIBSON; NOAKES, 2005; ST CLAIR GIBSON et al., 2006; TUCKER, 2009). A opção de conduzir a discussão de nossos achados sob a perspectiva de um “relógio interno” foi balisada pelo fato de que as hipóteses e perguntas do presente estudo foram alicerçadas na lógica desse modelo de regulação central do exercício (LAMBERT; ST CLAIR GIBSON; NOAKES, 2005; NOAKES; ST CLAIR GIBSON; LAMBERT, 2004). Desta forma, optamos por não discutir nossos achados sob a perspectiva mais tradicional da fisiologia do exercício. Nesse caso, entretanto, ainda que existam indícios de que a comunidade científica mundial esteja incorporando os conceitos de um modelo de exercício regulado centralmente (PIRES, 2013), reconhecemos que a discussão de nossos achados sob a perspectiva do conceito de “relógio biológico interno” é pautada,



essencialmente, pelos argumentos lógicos e teóricos desse modelo, mais do que pela presença de sólidas evidências experimentais.

## 9. CONCLUSÕES

Os resultados do presente estudo sugerem que a privação de luz ambiente afeta de forma diferente, o desempenho em diferentes modelos de exercício. Enquanto a privação de luz ambiente não foi capaz de influenciar o desempenho e a distribuição da potência mecânica num exercício fechado, houve redução do desempenho em exercício aberto. A ausência de alteração no desempenho durante exercício fechado ocorreu junto a um menor nível de PAE ao longo do exercício (teste de 20 km), mas nenhuma diferença foi observada no ponto final do exercício. De outro lado, a redução no desempenho em exercício aberto (i.e. TWC) realizado em ambiente privado de luz acompanhou uma maior resposta fisiológica e psicológica, indicada pelo maior  $VO_2$  e na taxa de incremento da PSE ao longo do exercício. Entretanto, nenhuma diferença foi observada sobre as respostas fisiológicas e psicológicas no ponto final do exercício.

Juntos, esses resultados sugerem que os efeitos da privação de luz ocorrem em exercício sem a presença de um ponto final previamente conhecido (i.e. exercício aberto). Além disso, a privação de luz parece afetar a regulação do exercício aberto durante a sua execução, mais do que em seu ponto final. Esses resultados foram interpretados de acordo com um modelo de “relógio biológico interno”, o qual calcula a duração tolerável do exercício de acordo com a aproximação ao ponto final do exercício.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBIS R. C., LAUSEN, P. B. Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. **Sports Medicine**, v. 38, n. 3, p. 239-252, 2008.

ALBERTUS, Y., TUCKER, R., ST CLAIR GIBSON, A., LAMBERT, E. V., HAMPSON, D. B., NOAKES, T. D. Effect of distance feedback on pacing strategy and perceived exertion during cycling. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 37, n.3, p. 461-468, 2005.

AMANN, M. Significance of group III and IV muscle afferent of endurance exercising human. **Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology**, v.39, n.9, p. 831-835, 2012.

BADEN, D.A., MCLEAN, T.L., TUCKER, R., NOAKES, T.D., ST CLAIR GIBSON, A. Effect of anticipation during unknown or unexpected exercise duration on rating perceived exertion, affect, and physiological function. **British Journal of Sports Medicine**, v.39, n. 10, p. 742-746, 2005.

BALDWIN, J., SNOW, R. J., GIBALA, M. J., GARNHAM, A., HOWARTH, K., FEBBRAIO, M. A. Glycogen availability does not affect the TCA cycle or TAN pools during prolonged, fatiguing exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 94, n. 6, p. 2181-2187, 2003.

BERGER, N. J. A., TOLFREY, K., WILLIAMS, A. G., JONES, A. M. Influence of continuous and interval training on oxygen uptake on-kinetics. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 38, n. 3, p 504-12, 2006.

BORG, E.; KAIJSER, L. A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v.16, n. 1, p. 57-69, 2006.

BORG, G. A. Psychophysical bases of perceived exertion. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.14, n. 5, p. 377-381, 1982.

BORG, G., LJUNGGREN, G., CECI, R. The increase of perceived exertion, aches and pain in the legs, heart rate and blood lactate during exercise on a bicycle ergometer. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v.54, n. 4, p. 343-349, 1985.

BUSSE, M. W., MAASSEN, N., KONRAD, H. Relation between plasma  $k^+$  and ventilation during incremental exercise after glycogen depletion and repletion in man. **Journal of Physiology**, n. 443, p. 469-476, 1991.

CARNAÚBA, T. R. C., SILVA-CAVALCANTE, M. D., SILVA, J. P. L., SIMÕES, A. G. M., ROZARIO, A. P. C., BERTUZZI, R. C. M., PIRES, F. O., OLIVEIRA, F. R., LIMA-SILVA, A. E. Efeitos da música sobre respostas perceptivas e estratégia de corrida. **Brasilian Journal of Biomotricity**, v. 5, n. 3, p. 210-220, 2011.

CHENG, T.D., LUIS, M., TREMBLAY, L. Randomizing visual feedback in manual aiming: reminiscence of previous trial condition and prior knowledge of feedback availability. **Experimental Brain Research**, v. 189, n. 4., p. 403-410, 2008.

CRAIG, A. D. How do you feel – now? The anterior insula and human awareness. **Nature Reviews Neuroscience**, v.10, p. 59-70, 2009.

CRAIG, A. D. How do you feel? Interoception: the sense of physiological condition of the body. **Nature Reviews Neuroscience**, v. 3, n. 8, p. 655-666, 2002.

CRAIG, A. D. Interoception: the sense of physiological condition of the body. **Current Opinion in Neurobiology**, v. 13, n. 4, p. 500-505, 2003.

CREWE, H., TUCKER, R., NOAKES, T. D. The rate of increase in rating of perceived exertion predicts the duration of exercise to fatigue at a fixed power output in different environmental conditions. **European Journal of Applied Physiology**, v. 103, n. 5, p. 569-577, 2008.

DAVIES, P. M., WALSH, D. Mechanisms of fatigue. **The Journal of Supportive Oncology**, v. 8, n. 4, p. 164-174, 2010.

DAVIES, P. O quinto milagre. **Companhia das letras**, 1 ed., 2000.

DE KONING, J. J., BOBBERT, M. F., FOSTER, C. Determination of optimal pacing strategy in track cycling with an energy flow model. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 2, n. 3, p. 266–277, 1999.

DE KONING, J.J., FOSTER, C., BAKKUM, A., KLOPPENBURG, S., THIEL, C., JOSEPH, T., COHEN, J., PORCARI, J.P. Regulation of pacing strategy during athletic competition, **Plos One**, v. 6, n. 1, 2011.

DREHER, J.C., GRAFMAN, J. The roles of the cerebellum and basal ganglia in timing and error prediction. **European Journal of Neuroscience**, v. 16, p. 1609-1619, 2002.

ENOKA, R. M., STUART, D. G. Neurobiology of muscle fatigue. **Journal of Applied Physiology**, v. 72, n. 5, p. 1631-1643, 1992.

ESTON, R., FAULKNER, J., ST CLAIR GIBSON, A., NOAKES, T. D, PARFITT, G. The effect of antecedent fatiguing activity on the relationship between perceived exertion and physiological activity during a constant load exercise task. **Psychophysiology**, v. 44, n. 5, p. 779-786, 2007.

FIELD, D. T., WILKIE, R. M., WANN, J. P. Neural system in the visual control of steering. **The Journal of Neuroscience**, v. 27, n. 30, p. 8002-8010, 2007.

FITTS, R. H. Cellular mechanisms of muscle fatigue. **Physiological Reviews**, v. 74, n. 1, p. 49-94, 1994.

FITTS, R. H. The cross-bridge cycle and skeletal muscle fatigue. **Journal of Applied Physiology**, v. 104, p. 551-558, 2008.

FOSTER C, SNYDER A. C, THOMPSON N. N, GREEN M. A, FOLEY M, SCHRAGER M. Effect of pacing strategy on cycle time trial performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**.v.25, p.383-388, 1993.

FOSTER, C., DE KONING, J. J., HETTINGA, F., LAMPEN, J., DODGE, C., BOBBERT, M., PORCARI, J. P. Effect of competitive distance on energy expenditure during simulated competition. **International Journal of Sports Medicine**, v. 25, n. 3, p. 198–204, 2004.

FOSTER, C., SNYDER, A. C., THOMPSON, N. N., GREEN, M. A., FOLEY, M., SCHRAGER, M. Effect of pacing strategy on cycle time trial performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 25, n. 9, p. 383–388, 1993.

GLICKSTEIN, M., DORON, K. Cerebellum: Connection and Functions. **Cerebellum**, v. 7, n. 4, p. 589-594, 2008.

GOODALE, M. A., HUMPHREY, G. K. The objects of action and perception. **Cognition**, n. 67, p. 181-207, 1998.

GREEN, H. J. Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise. **Journal of Sports Sciences**, v.15, n. 3, p. 247-256, 1997.

GROENEWEGEN, H.J. The basal ganglia and motor control. **Neural Plasticity**, v. 10, n. 1-2, p. 107-120, 2003.

HAMPSON, D. B., ST CLAIR GIBSON, A., LAMBERT, M. I., NOAKES, T. D. The influence of sensory cues on the perception of exertion during exercise and central regulation of exercise performance. **Sports Medicine**, v. 31, n. 13: p. 935-52, 2001.

HETTINGA, F.J., DE KONING, J.J., HULLEMAN, M., FOSTER, C. Relative importance of pacing strategy and mean power output in 1500-m self-paced cycling. **British Journal of Sports Medicine**, v. 46, n. 1, p. 30-35, 2009.

HILL, A. V., LUPTON, H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. **Quarterly Journal of Medicine**, v. 16, p. 135 – 171. 1923.

HOSHI, E., TREMBLAY, L., FÉGER, J., CARRAS, P.L., STRICK, P.L. The cerebellum communicates with the basal ganglia. **Nature Neuroscience**, v. 8, n. 11, p. 1491-1493, 2005.

JONES, S.A., HENRIQUES, D.Y. Memory for proprioceptive and multisensory targets is partially coded relative to gaze. **Neuropsychologia**, v. 48, n. 13, p. 3782-3792, 2010.

KAL, E.C., van der KAMP, J., HOUDIJK, H. External attentional focus enhances movement automatization: A comprehensive test of the constrained action hypothesis. **Human Movement Science**, v. 32, n. 4, p. 527-539, 2013.

KANDEL, E. R., SCHWARTZ, J. H., JESSELL, T. M. **Princípios da neurociência**. 4 ed. **Manole**, 2003.

KRIEL, Y., HAMPSON, D. B., E. V, TUCKER, R., ALBERTUS, Y., St CLAIR GIBSON, A. Visual stimulus deprivation and manipulation of auditory timing signals on pacing strategy. **Perceptual and Motor Skills**, v. 105, p. 1227-1241, 2007.

LAMARRA, N., WHIPP, B. J., WASSERMAN, K. Effect of interbreath fluctuations on characterizing exercise gas exchange kinetics. **Journal of Applied Physiology**. V. 62, n. 5, p.12-2003, 1987.

LAMBERT, E. V., ST CLAIR GIBSON, A., NOAKES, T. D. Complex system of fatigue: integrative homeostatic control of peripheral physiological systems during exercise in humans. **British Journal of Sports Medicine**, v. 39, p. 52 – 62, 2005.

LAND, M. Vision, eye movements, and natural behavior. **Visual Neuroscience**, v. 26, n. 1, p. 51-62, 2009.

LANDER, P.J., BUTTERLY, R.J., EDWARDS, A.M. Self-paced exercise is less physically challenging than enforced constant pace exercise of the same intensity: influence of complex central metabolic control. **British Journal of Sports medicine**, v. 43, p. 789-795, 2009.

LATEINER, J. E., SAINBURG, R. L. Differential contributions of vision and proprioception to movement accuracy. **Experimental Brain Research**, v. 151, n. 4, p. 446-454, 2003.

LEISMAN, G., MELILLO, R. The basal ganglia: motor and cognitive relationships in a clinical neurobehavioral context. **Reviews in the Neuroscience**, v. 24, n. 1, p. 9-25, 2013.

LENT, R. Cem bilhões de neurônios? Conceitos fundamentais de neurociência. 2 ed. **Atheneu**, 2010.

LEPERS, R., HAUSSWIRTH, C., MAFFIULET, N., BRISSWATER, J., VAN HOECKE, J. Evidence of neuromuscular fatigue after prolonged cycling exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 32, n. 1, p. 1880-1886, 2000.

LEPERS, R., MAFFIULETTI, N. A., ROCHETTE, L., BRUGNIAUX, J., MILLET, G. Y. Neuromuscular fatigue during a long-duration cycling exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 92, p. 1487-1493, 2002.

LIMA-SILVA, A. E., SILVA-CAVALCANTE, M. D., PIRES, F. O., BERTUZZI, R., OLIVEIRA, R. S. F., BISHOP, D. Listening to music in the first, but not the last 1.5 km of a 5-km running trial alters pacing strategy and improves performance. **International Journal of Sports Medicine**, v. 33, n. 10, p.813-818, 2012.

LOHSE, K. R., SHERWOOD, D. E. Defining the focus of attention: effects of attention on perceived exertion and fatigue. **Frontiers in Psychology**, v. 2, p. 1-10, 2011.

MANZONI, D. The cerebellum and sensorimotor coupling: Looking at the problem from the perspective of vestibular reflexes. **The Cerebellum**, v. 6, n. 1, p. 24-37, 2007.

MARCHANT, D.C., GREIG, M., SCOTT, C. Attentional focusing instructions influence force production and muscular activity during isokinetic elbow flexions. **The Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 23, n. 8, p. 2358-2366, 2009.

MARCORA, S. M., BOSIO, A., de MORREE H. M. Locomotor muscle fatigue increases cardiorespiratory responses and reduces performance during intense cycling exercise independently from metabolic stress. **American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative, and Comparative Physiology**, v. 294, n. 3, p. 874-883, 2008.

MARCORA, S. M., STAIANO, W. The limit to exercise tolerance in humans: mind over muscle? **European Journal of Applied Physiology**, v. 109, p. 763-70, 2010.

MAUGER, A.R., JONES, A.M., WILLIAMS, C.A. Influence of feedback and prior experience on pacing during a 4-km cycle time trial. **Medicine and Science in Sports and Exercises**, v. 41, n.2, p. 451-458, 2009.

MEYER, T., LUCÍA, A., EARNEST, C.P., KINDERMANN, W. A conceptual framework for performance diagnoses and training prescription from submaximal gas exchange parameters-theory and application. **International Journal of Sports Medicine**, v. 26, 2005.

MERCHANT, H., HARRINGTON, D.L., MECK, W.H. Neural bases of the perception and estimation of time. **Annual Review of Neuroscience**, v. 36, p. 313-336, 2013.

MESTRE, D. R., EWALD, M., MAIANO, C. Virtual reality and exercise: behavioral and psychological effects of visual feedback. **Annual Review of Cybertherapy and Telemedicine**, v. 167, p. 122-127, 2011.

MICKLEWRIGHT, D., PAPADOPOULOU, E., PARRY, D. Perceived exertion influences pacing among ultramarathon runners but post-race mood change is associated with performance expectancy. **South African Journal of Sports Medicine**, v. 21, n. 4, p. 167-172, 2009.

MICKLEWRIGHT, D., PAPADOPOULOU, E., SWART, J., NOAKES, T. Previous experience influences pacing during 20 km time trial cycling. **British Journal of Sports medicine**, v. 44, n. 13, p. 952-960, 2009.

NOAKES, T. D. Implications of exercise testing of athletic performance: a contemporary perspective. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 20, n. 4, p. 319-30, 1988.

NOAKES, T. D., MARINO, F. E. Does a central governor regulate maximal exercise during combined arm and leg exercise? A rebuttal. **European Journal of Applied Physiology**, v. 101, n. 5; p. 603-11, 2008.



NOAKES, T. D., MYBURGH, K.H., SCHALL, R. Peak treadmill running velocity during the VO2 max test running performance. **Journal of Sport Science**, v. 8, n. 1, p. 35-45, 1990.

NOAKES, T. D., ST CLAIR GIBSON, A. Logical limitations to the “catastrophe” models of fatigue during exercise in humans. **British Journal of Sports Medicine**, v. 38, p. 648 - 649. 2004.

NOAKES, T. D., ST CLAIR GIBSON, A., LAMBERT, E. V. From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans. **British Journal of Sports Medicine**, v. 38, p. 511 – 514, 2004.

NOAKES, T. D., St CLAIR GIBSON, A., LAMBERT, E. V. From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans. **British Journal of Sports Medicine**, v. 39, n. 2, p. 120-4, 2005.

NOAKES, T.D. Rating perceived exertion as a predictor of the duration of the exercise that remains until exhaustion. **British Journal of Sports Medicine**, v. 42, n. 7, p. 623-624, 2008.

NOAKES, T.D., Linear relationship between the perception of effort and the duration of constant load exercise that remains. **Journal of Applied Physiology**, v. 96, n. 4, p. 1571-1573, 2004.

NOBLE, B. J., BORG, G. A., JACOBS, I., CECI, R., KAISER, P. A category-ratio perceived exertion scale: relationship to blood and muscle lactates and heart rate. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 15, p. 523-528, 1983.

PARRY, D.P., CHINNASAMY, C., MICKLEWRIGHT, D. Optic flow influences perceived exertion during cycling. **Journal of Sports and Exercise Psychology**, v. 34, p. 444-456, 2012.

PIRES, F., de O. Thomas Kuhn’s structure of scientific revolutions’ applied to exercise science paradigm shifts: example including the central governor model. **British Journal of Sports Medicine**, v. 47, n. 11, p. 721-722, 2012.

PLACE, N., LEPRES, R., DELEY, G., MILLET, G. Y. Time course of neuromuscular alterations during a prolonged running exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 36, n. 8, p. 1347-1356, 2004.

POTTEIGER, J. A. ACSM’s Introduction to exercise science. 1 ed. **Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins**, 2011.

RIZZOLATTI, G., LUPPINO, G. The cortical motor system. **Neuron**, v. 31, n. 6, p. 889-901, 2001.

ROELANDS, B., DE KONING, J., FOSTER, C., HETTINGA, F., MEEUSEN, R. Neurophysiological determinants of theoretical concepts and mechanisms involved in pacing. **Sports Medicine**, v. 43, n. 5, p. 301-311, 2013.

SAFRONOV, V. A. The effect of darkness on kee-jerk reflexes. **Human Physiology**, v. 35, n. 5, p. 592-595, 2009.

SCHEIDT, R. A., CONDITT, M. A., SECCO, E. L., MUSSA-IVALDI, F. A. Interaction of visual and proprioception feedback during adaption of human reaching movement. **Journal of Neurophysiology**, v. 93, n. 6, p. 3200-3203, 2005.

SCHÜCKER, L., HAGEMANN, N., STRAUSS, B., VÖLKER, K. The effect of attentional focus on running economy. **Journal of Sports Science**, v. 27, n. 12, p. 1241-1248, 2009.

SCHWARTZ, S. Visual Perception: A Clinical Orientation. 3 ed. **McGraw-Hill**, 2004.

ST CLAIR GIBSON, A., BADEN, D. A., LAMBERT, M. I., LAMBERT, E. V., HARLEY, Y. X., HAMPSON, D., RUSSEL, V. A., NOAKES, T. D. The conscious perception of the sensation of fatigue. **Sports Medicine**, v. 33, n. 3, p. 177-176, 2003.

ST CLAIR GIBSON, A., LAMBERT, E. V., RAUCH, L. H. G., TUCKER, R., BADEN, D. A., FOSTER, C., NOAKES, T. D. The role of information processing between the brain and peripheral physiological systems in pacing and perception of effort. **Sports Medicine**, v. 36, n. 8, p. 705-722, 2006.

ST CLAIR GIBSON, A., NOAKES, T. D. Evidence for a complex system integration and dynamic neural regulation of skeletal muscle recruitment during exercise in humans, **British Journal of Sports Medicine**, v. 38, n. 6, p. 797-806, 2004.

STEIN, J. F. Role of cerebellum in the visual guidance of movement. **Nature**, v. 328, n.18, p. 217-221, 1986.

STONE, M.R., THOMAS, K., WILKINSON, M., JONES, A.N., ST CLAIR GIBSON, A., THOMPSON, K.G. Effects of deception on exercise performance: implication for determinants of fatigue in humans. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 44, n. 3, p. 534-541, 2012.

TAMMEN, V. V. Elite middle and long distance runners associative dissociative coping. **Journal of Applied Sport Psychology**, n.8, p.1-8, 1996.

TAYLOR, A. D., BRONKS, R., SMITH, P., HUMPHRIES, B. Myoelectric evidence of peripheral muscle fatigue during exercise in severe hypoxia: some references to m. vastus lateralis myosin heavy chain composition. **European Journal of Applied Physiology**, v. 75, n. 2, p. 151-195, 1997.

TENENBAUM, G., EKLUND, R.C. Handbook of sport psychology. 3 ed. **John Wiley e Sons**, 2007.

TUCKER, R. The anticipatory regulation of performance: the physiological bases pf pacing strategies and the development of a perception-based model for exercise performance. **British Journal of Sports Medicine**, v. 43, p. 392-400, 2009.

TURNER, R.S., DESMURGET, M. Basal ganglia contributions to motor control: A vigorous tutor, **Current Opinion in Neurobiology**, v. 20, n. 6, p. 704-716, 2010.

WESTON, S. B., GRAY, A. B., SCHNEIDER, D. A., GASS, G. C. Effect of ramp slope on ventilation thresholds and VO<sub>2</sub>peak in male cyclists. **International Journal of Sports and Medicine**, v. 23, n. 1, 7-22, 2002.

WILLIAMS, C.A., BAILEY, S.D., MAUGER, A.R. External exercise information provides no immediate additional performance benefit to untrained individuals in time trial cycling. **British Journal of Sports Medicine**, v. 46, n. 1, p. 49-53, 2012.