

Wesley Henrique de Moura Santos

**ASSOCIAÇÃO ENTRE A VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA E
O DESEMPENHO FÍSICO DURANTE O EXERCÍCIO REALIZADO EM
DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS**

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional

Universidade Federal de Minas Gerais

2016

Wesley Henrique de Moura Santos

**ASSOCIAÇÃO ENTRE A VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA E
O DESEMPENHO FÍSICO DURANTE O EXERCÍCIO REALIZADO EM
DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ciências do Esporte.

Área de Concentração: Treinamento Esportivo
Linha de Pesquisa: Termorregulação, metabolismo e fadiga no exercício e no treinamento

Orientador: Prof. Dr. Samuel Penna Wanner

Belo Horizonte
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Universidade Federal de Minas Gerais
2016

S237a Santos, Wesley Henrique de Moura

2016 Associação entre a variabilidade da frequência cardíaca e o desempenho físico durante o exercício realizado em diferentes condições ambientais. / [manuscrito]. Wesley Henrique de Moura Santos – 2016.

92f., enc.:il.

Orientador: Samuel Penna Wanner

Mestrado (dissertação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.

Bibliografia: f. 83-88

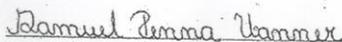
1. Exercícios físicos – Aspectos fisiológicos - Teses. 2. Temperatura – Efeitos fisiológicos – Teses. 4. Regulação Corporal - Teses. 5. Fadiga - Teses. I. Wanner, Samuel Penna. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. III. Título.

CDU: 612:796



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte

A Dissertação intitulada "Associação entre a Variabilidade da Frequência Cardíaca e o Desempenho Físico durante o Exercício Realizado em Diferentes Condições Ambientais", de autoria do mestrando Wesley Henrique de Moura Santos, defendida em 27 de abril de 2016, na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, foi submetida à banca examinadora composta pelos professores:



Prof. Dr. Samuel Penna Wanner (Orientador)
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Universidade Federal de Minas Gerais



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



Prof. Dr. Thales Nicolau Prímola Gomes
Universidade Federal de Viçosa

Belo Horizonte, 27 de abril de 2016.

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Fisiologia do Exercício (LAFISE) da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) com os auxílios concedidos pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ).

À minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS, a minha família e aos meus amigos, em especial, à minha mãe Lourdes Aparecida, aos meus irmãos Thales e Anna Luiza, por todo o suporte, carinho, amor e amizade concedidos nos momentos mais difíceis da minha vida. Tenho certeza que vocês foram e continuam sendo o meu alicerce!

Ao meu orientador professor Dr. Samuel Penna Wanner, por todo investimento e dedicação à minha formação acadêmica, desde a iniciação científica, monitoria de graduação e TCC até a Pós-Graduação.

Ao professor Dr. Washington Pires, por ter me auxiliado nas análises da variabilidade da frequência cardíaca e, por ter contribuído desde o início para que eu aumentasse o conhecimento sobre o este tema.

Aos colegas de laboratório, em especial, ao Diogo Pacheco, Marcelo Teixeira, Alexandre Sérvulo, Thiago Mendes e ao professor Dr. Luciano Sales Prado, pelas discussões de qualidade, companheirismo e disponibilidade em me auxiliar no desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas de mestrado, em especial, à Karine Goulart, Adriano Araújo, Matheus Sachetto, Gabriela Cangussu, Gustavo Guimarães e Cássia Nascimento, pela amizade e momentos de descontração ao longo desta incrível jornada.

A todos os demais membros do laboratório, por terem compartilhado informações de qualidade durante diversas discussões e reuniões científicas, que ao longo do tempo foram transformadas em conhecimento e me ajudaram a melhorar minha capacidade de pensamento.

Aos bolsistas e participantes voluntários do LAFISE, por me ajudarem durante as coletas de dados, em especial, à Thainá Amâncio, Alina Prudencini, Alba Silva, Michele Rafaela e Rúbio Sabino.

Aos voluntários que se dispuseram a participar desta pesquisa com determinação e comprometimento.

Ao Minas Tênis Clube, pela parceria com o LAFISE, que por intermédio da Carolina Wilke nos forneceu o equipamento de registro da variabilidade da frequência cardíaca, o qual foi de suma importância para a realização das coletas de dados deste estudo.

“Uma vida não examinada é uma vida sem sentido”

(Sócrates)

RESUMO

As repostas cardiovasculares induzidas pelo exercício físico são acompanhadas por modificações na atividade do sistema nervoso autônomo. Esta regulação autonômica do sistema cardiovascular pode ser determinada de forma indireta e não invasiva por meio da análise da variabilidade da frequência cardíaca (VFC). Este estudo teve como objetivo investigar a relação entre a VFC e o desempenho físico durante uma única sessão de exercício realizada em diferentes condições ambientais e verificar se as alterações no desempenho causadas pelos ambientes quente e frio estão associadas às modificações nos parâmetros da VFC. Os voluntários ($n = 9$) foram inicialmente familiarizados às situações experimentais. Todos os exercícios foram realizados em um cicloergômetro posicionado dentro de uma câmara ambiental ajustada para manter as seguintes temperaturas ambientais: 26°C (temperado), 12°C (frio) e 40°C (quente), sempre com 50% de umidade relativa do ar. Os voluntários realizaram três testes de Balke modificados para determinar a potência máxima ($P_{m\acute{a}x}$) em cada condição ambiental. Posteriormente, os voluntários realizaram os exercícios prolongados até a fadiga (iniciaram a 40% da $P_{m\acute{a}x}$, com aumentos de 2% da $P_{m\acute{a}x}$ a cada 8 minutos) nos três ambientes. O desempenho físico durante os exercícios prolongados foi prejudicado no ambiente quente e favorecido no ambiente frio. O parâmetro variância da VFC calculado em repouso apresentou uma correlação positiva e significativa com o tempo total de exercício a 12°C. No primeiro estágio do exercício prolongado, o intervalo de pulso (média) da FC esteve positiva e significativamente correlacionado com o desempenho físico a 40°C. Já no segundo estágio do exercício, o índice de muito baixa frequência (VLF) e o índice de baixa frequência (LF) apresentaram, respectivamente, correlações negativas (a 26°C) e positivas (40°C) com o desempenho físico. Na sequência, nós tentamos correlacionar as alterações percentuais nos parâmetros da VFC e as alterações percentuais no desempenho físico induzidas pela exposição ao ambiente quente ou frio; no entanto, nenhuma correlação significativa foi observada. Neste estudo, a análise da VFC realizada em repouso e nos dois primeiros estágios do exercício prolongado de ciclismo não foi uma ferramenta adequada para prever o desempenho físico agudo, uma vez que poucos parâmetros da VFC correlacionaram significativamente com o tempo total de exercício durante as três situações estudadas.

Palavras-chave: Ambiente frio. Análise espectral. Calor. Fadiga. Sistema cardiovascular. Sistema nervoso autônomo.

ABSTRACT

Physical exercise-induced cardiovascular responses result from changes in the activity of the autonomic nervous system. This regulation of the cardiovascular system can be indirectly established by the non-invasive analysis of the heart rate variability (HRV). This study aimed to investigate the relationship between HRV and physical performance during a single bout of exercise performed in different environments and verify whether the alterations on physical performance evoked by cold and hot environments were associated with modifications at HRV parameters. Initially, the volunteers (n = 9) were familiarized to the experimental trials. All exercises were performed on a cycle-ergometer positioned inside a climatic chamber that was adjusted to maintain the following ambient temperatures: 26°C (temperate), 12°C (cold) and 40°C (hot), with relative air humidity always set at 50%. The volunteers were subjected to three modified Balke tests to establish their maximal power output (P_{\max}) in each environment. Furthermore, the volunteers were subjected to fatiguing, prolonged exercises (these exercises started at 40% of P_{\max} , with increments of 2% of P_{\max} every 8 minutes) in the three above-mentioned environments. Physical performance during prolonged exercises was impaired in hot, but facilitated in the cold environment. The variance parameter of HRV calculated when subjects were resting showed a positive and significant correlation with total exercise time at 12°C. In the first stage of prolonged exercise, the pulse interval (mean) of heart rate was positive and significantly correlated with physical performance at 40°C. Regarding the second stage, the very low frequency (VLF) and high frequency (HF) components showed, respectively, negative (at 26°C) and positive (at 40°C) correlations with physical performance. We then tried to correlate the percentage changes in HRV parameters with the percentage changes in performance induced by exposition to cold or hot environments; however, no significant correlations were observed. In our study, the HRV analysis performed in resting and during the first two stages of prolonged exercise cycling was not a useful tool for predict acute physical performance, once few parameters of HRV was significantly associated with the total time of exercise in each one the three studied-environments.

Keywords: Autonomic nervous system. Cardiovascular system. Cold environment. Fatigue. Hot. Spectral analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama dos mecanismos da motivação e exaustão	19
Figura 2: Modelo do governador central	21
Figura 3: A) método não linear de análise da variabilidade da frequência cardíaca – Análise simbólica e B) classificação do padrão de variação	24
Figura 4: Ordem dos procedimentos experimentais	34
Figura 5: Ilustração gráfica do protocolo utilizado durante o teste progressivo para a determinação da potência máxima	38
Figura 6: Repouso de 30 minutos dentro da câmara ambiental	39
Figura 7: Exercício prolongado de ciclismo dentro da câmara ambiental	40
Figura 8: Situação experimental	40
Figura 9: Escala de percepção subjetiva do esforço	43
Figura 10: Escala de conforto térmico	44
Figura 11: Escala de sensação térmica	44
Figura 12: Arquivo em formato “txt”	46
Figura 13: Programa cardioseries – domínio do tempo.....	47
Figura 14: Programa cardioseries – domínio da frequência	48
Figura 15: Potência máxima atingida pelos voluntários durante os testes de Balke modificados realizados nas três diferentes condições ambientais	50
Figura 16: Frequência cardíaca dos voluntários durante os testes de Balke modificados realizados nas três diferentes condições ambientais	51
Figura 17: Percepção subjetiva do esforço dos voluntários durante os testes de Balke modificados realizados nas três condições ambientais	52
Figura 18: Tempo de ciclismo até a fadiga dos voluntários durante o exercício prolongado realizado nas três condições ambientais	53
Figura 19: Potência média realizada pelos voluntários durante os exercícios prolongados nas três condições ambientais	54
Figura 20: Frequência cardíaca dos voluntários durante os exercícios prolongados nas três condições ambientais	55
Figura 21: Percepção subjetiva do esforço dos voluntários durante os exercícios prolongados realizados nas três condições ambientais	56

Figura 22: Conforto térmico dos voluntários durante os exercícios prolongados nas três temperaturas ambientais	57
Figura 23: Sensação térmica dos voluntários durante os exercícios prolongados nas três condições ambientais	58
Figura 24: Concentração de lactato dos voluntários medida nos momentos pré e pós-exercício nas três condições ambientais	59
Figura 25: Temperatura interna dos voluntários durante os exercícios prolongados realizados nas três condições ambientais	60
Figura 26: Temperatura média da pele durante os exercícios prolongados realizados nas três condições ambientais	61
Figura 27: Taxa de sudorese dos voluntários durante os exercícios prolongados realizados nas três condições ambientais	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização da amostra	33
Tabela 2: Variação da massa corporal, sudorese total, gravidade específica da urina e volume de líquido ingerido durante os exercícios prolongados nas três condições ambientais	62
Tabela 3: Parâmetros da VFC em repouso entre as diferentes condições ambientais ...	64
Tabela 4: Parâmetros da VFC durante o 1º estágio dos exercícios prolongados em diferentes condições ambientais	65
Tabela 5: Parâmetros da VFC durante o 2º estágio dos exercícios prolongados nas diferentes condições ambientais	66
Tabela 6: Correlação entre a VFC em repouso e o tempo total de ciclismo até a fadiga durante os exercícios prolongados	67
Tabela 7: Correlação entre a VFC durante o 1º estágio e o tempo total dos exercícios prolongados	68
Tabela 8: Correlação entre a VFC durante o 2º estágio e o tempo total dos exercícios prolongados	69
Tabela 9: Correlação entre o percentual das alterações na VFC em repouso e o tempo do exercício de ciclismo nas diferentes condições ambientais	70
Tabela 10: Correlação entre o percentual das alterações na VFC no 1º estágio do exercício prolongado e o tempo do exercício nas diferentes condições ambientais	71
Tabela 11: Correlação entre o percentual das alterações na VFC no 2º estágio do exercício prolongado e o tempo do exercício nas diferentes condições ambientais	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Descrição do café da manhã fornecido aos voluntários	35
Quadro 2: Ordem das situações experimentais	39
Quadro 3: Significado fisiológico proposto para os parâmetros da VFC	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

bpm – Batimentos por minuto

°C – Graus centígrados

COEP – Comitê de ética em pesquisa

CT – Conforto térmico

ECG - Eletrocardiograma

EEFFTO – Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional

FC – Frequência Cardíaca

GEU – Gravidade específica da urina

HF – Componente de alta frequência

HF (n.u.) – Componente de alta frequência normalizado

LAFISE – Laboratório de Fisiologia do Exercício

LF – Componente de baixa frequência

LF/HF – Razão entre os componentes de baixa e alta frequência

LF (n.u.) – Componente de baixa frequência normalizado

LAC PRÉ – Lactato antes do exercício aeróbio

LAC PÓS - Lactato após o exercício aeróbio

PA – Pressão arterial

PAR-Q – Questionário de risco para a atividade física

$P_{\text{máx}}$ – Potência máxima

PSE – Percepção subjetiva do esforço

RMSSD – Raiz quadrada da média das diferenças sucessivas ao quadrado, entre R-R adjacentes.

R-R – Intervalo entre batimentos cardíacos consecutivos

ST – Sensação térmica

SNA – Sistema nervoso autônomo

SNC – Sistema nervoso central

SNP – Sistema nervoso parassimpático

SNS – Sistema nervoso simpático

TCLE – Termo de consentimento livre e esclarecido

T_{pele} – Temperatura da pele

T_{retal} – Temperatura retal

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

URA – Umidade Relativa do Ar

VFC – Variabilidade da frequência cardíaca

VLf – Componente de muito baixa frequência

$VO_{2máx}$ – Consumo máximo de oxigênio

W – Watts

W1 – Potência correspondente ao último estágio

W2 – Incremento correspondente a cada estágio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Fadiga durante o exercício agudo	18
1.2 Histórico da Variabilidade Cardiovascular	22
1.3 Variabilidade da Frequência Cardíaca	25
1.4 Termorregulação e VFC	28
1.5 Fadiga e VFC	29
2. OBJETIVOS	31
2.1 Objetivo geral	31
2.2 Objetivos específicos	31
3. HIPÓTESES	32
4. MÉTODOS	33
4.1 Cuidados éticos e caracterização da amostra	33
4.2 Delineamento experimental	33
4.3 Procedimentos anteriores às situações experimentais	35
4.3.1 Orientações fornecidas aos voluntários	35
4.3.2 Massa corporal	35
4.3.3 Estatura	36
4.3.4 Gordura Corporal	36
4.4 Testes de Balke modificados	36
4.5 Situações experimentais	38
4.6 Variáveis medidas	41
4.6.1 Temperatura corporal interna	41
4.6.2 Temperatura média da pele (T_{pele})	41
4.6.3 Frequência Cardíaca e VFC	42
4.6.4 Concentração sanguínea de lactato	43
4.6.5 Percepção subjetiva do esforço	43
4.6.6 Conforto térmico	44
4.6.7 Sensação térmica	44
4.6.8 Gravidade específica da urina	45
4.7 Variáveis calculadas	45
4.7.1 Variação da massa corporal	45
4.7.2 Volume de líquido ingerido	45

4.7.3	Sudorese total	45
4.7.4	Taxa de sudorese.....	46
4.7.5	Análise da VFC no domínio do tempo e da frequência.....	46
5.	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	49
6.	RESULTADOS	50
6.1	Potência máxima nos testes de Balke modificados	50
6.2	Frequência cardíaca durante os testes de Balke modificados	51
6.3	Percepção subjetiva do esforço durante os testes de Balke modificados	52
6.4	Tempo de ciclismo até a fadiga durante os exercícios prolongados	53
6.5	Potência média durante os exercícios prolongados	54
6.6	Frequência cardíaca durante os exercícios prolongados	55
6.7	Percepção subjetiva do esforço dos voluntários nos exercícios prolongados.....	56
6.8	Conforto térmico dos voluntários nos exercícios prolongados	57
6.9	Sensação térmica dos voluntários nos exercícios prolongados	58
6.10	Lactato.....	59
6.11	Temperatura corporal interna	60
6.12	Temperatura média da pele.....	61
6.13	Variação da massa corporal, sudorese total, gravidade específica da urina e volume de líquido ingerido durante os exercícios prolongados.....	62
6.14	Taxa de Sudorese durante os exercícios prolongados	63
6.15	Comparação dos parâmetros da VFC em repouso entre as três diferentes condições ambientais.....	64
6.16	Parâmetros da VFC durante o 1º estágio dos exercícios prolongados em diferentes ambientes.....	65
6.17	Parâmetros da VFC durante o 2º estágio dos exercícios prolongados em diferentes ambientes.....	66
6.18	Correlação entre a VFC de repouso e o tempo total de ciclismo até a fadiga durante os exercícios prolongados	67
6.19	Correlação entre a VFC durante o 1º estágio e o tempo total de exercício	68
6.20	Correlação entre a VFC durante o 2º estágio e o tempo total de ciclismo até a fadiga durante os exercícios prolongados	69
6.21	Correlação entre as alterações percentuais nos componentes da VFC em repouso e as alterações percentuais no desempenho físico induzidas pela exposição ao ambiente quente ou frio.	70

6.22	Correlação entre as alterações percentuais nos parâmetros da VFC no 1º estágio do exercício prolongado e as alterações percentuais no desempenho físico induzidas pela exposição ao ambiente quente ou frio.	71
6.23	Correlação entre as alterações percentuais nos parâmetros da VFC no 2º estágio do exercício prolongado e as alterações percentuais no desempenho físico induzidas pela exposição ao ambiente quente ou frio.	72
7.	DISCUSSÃO	73
8.	CONCLUSÃO	82
9.	REFERÊNCIAS.....	83
10.	ANEXOS	89
11.	APÊNDICES.....	90

1 INTRODUÇÃO

1.1 Fadiga durante o exercício agudo

Os fatores que influenciam o desempenho físico no esporte vêm sendo investigados desde o final do século XIX. Diferentes modelos teóricos surgiram com o objetivo de explicar as causas da fadiga e a consequente redução do desempenho. Fletcher e Hopkins (1907) e Hill, Long e Lupton (1924) demonstraram uma associação positiva entre a fadiga durante o exercício e a produção de ácido lático nas fibras musculares. A partir destes resultados, surgiu a hipótese de que fatores periféricos poderiam limitar o desempenho e levar à interrupção do exercício.

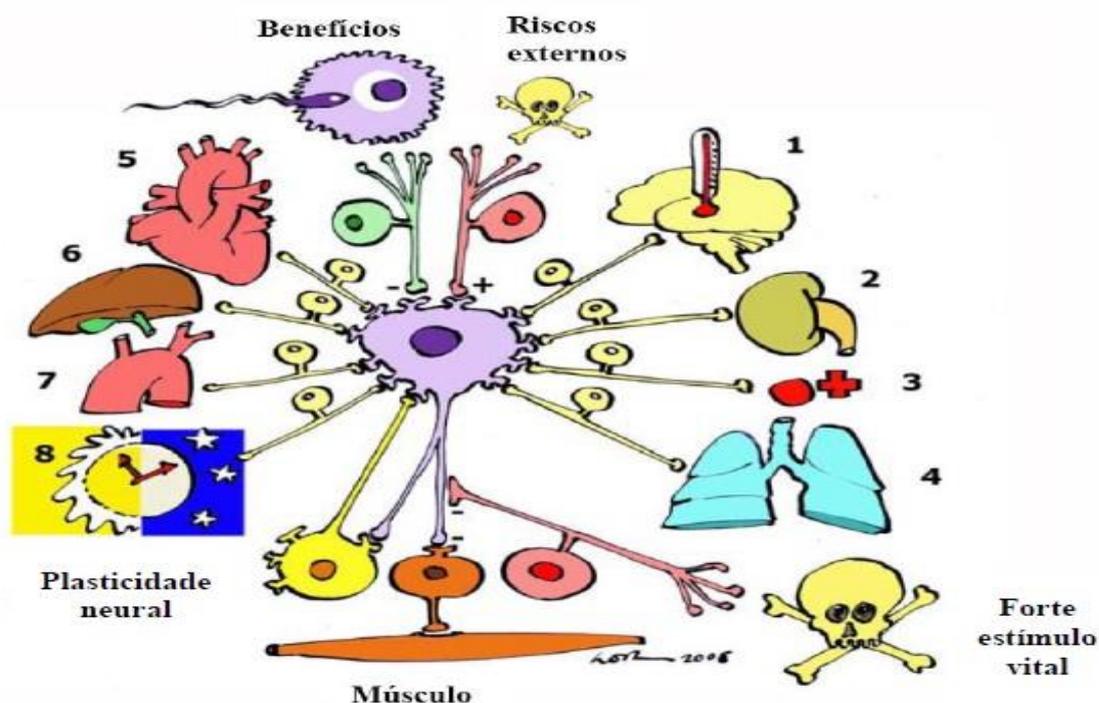
Na década de 1915, o fisiologista Alessandro Mosso verificou em seus experimentos que a fadiga durante o exercício físico se desenvolve por meio de fatores centrais e periféricos. Dessa forma, Mosso descreveu dois importantes fenômenos em suas observações: o primeiro - diminuição na produção de força muscular durante o processo de fadiga, o segundo – o entendimento da fadiga como uma sensação.

De acordo com o modelo teórico dos “Limites Integrados” proposto por Rodrigues e Silami-Garcia (1998), a fadiga é definida como um mecanismo de proteção do organismo que integra os diversos estímulos sensoriais associados à intensidade e duração do exercício, evitando que algum dos sistemas fisiológicos alcance seu limite em resposta ao esforço físico. Sendo assim, os estímulos aferentes sensoriais provenientes dos receptores periféricos são continuamente processados pelo sistema nervoso central (SNC) e, de acordo com a intensidade e a duração do esforço e com as características do ambiente (temperatura e umidade relativa do ar) em que o exercício é praticado, aumentam ou reduzem as sensações de fadiga.

Este modelo sugere que um centro de controle localizado no SNC (ainda desconhecido) avaliaria a relação entre os riscos e benefícios da realização do exercício, determinando assim a atividade da via eferente motora envolvida no recrutamento das fibras musculares (FIGURA 1). Portanto, a fadiga durante o exercício físico agudo representaria um mecanismo de proteção para o corpo humano, em que a percepção do esforço do indivíduo é aumentada até que, de forma voluntária, o indivíduo decida interromper ou até mesmo continuar o exercício com uma intensidade mais baixa.

Em 2001, Gandevia demonstrou a participação de mecanismos centrais e periféricos na determinação da fadiga durante esforços máximos. Em suas observações, foi verificado que a redução na estimulação supra-espinal dos moto-neurônios estão envolvidas no desenvolvimento da fadiga central. A redução na estimulação neuro-motora é uma forma de prevenir que a junção neuromuscular e o meio intracelular atinjam um estado de prejuízo homeostático, cuja recuperação seria praticamente impossível. Além disso, a fadiga central poderia reduzir o desempenho em situações que a continuação da tarefa comprometesse outros mecanismos homeostáticos vitais, como por exemplo, a manutenção da temperatura interna, da pressão arterial (PA) e da ventilação (GANDEVIA, 2001).

Figura 1 – Diagrama dos mecanismos da motivação, fadiga e exaustão.

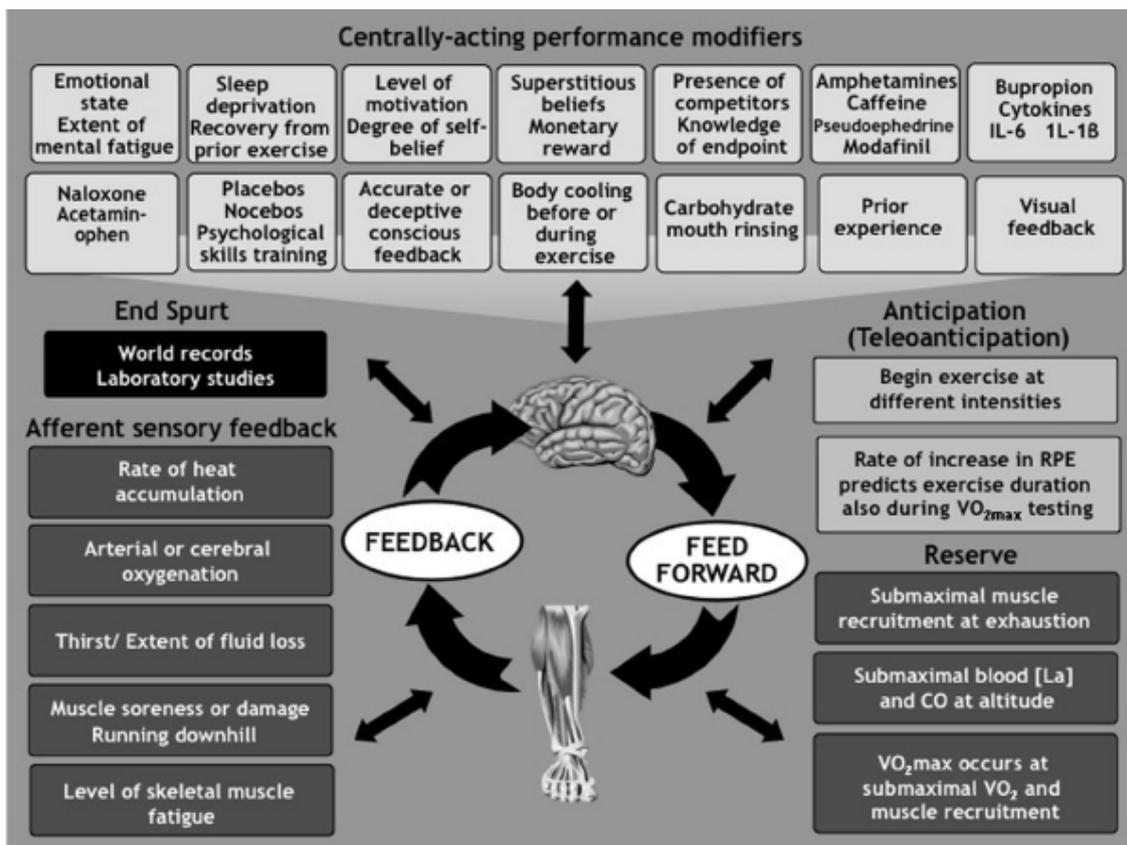


A redução da intensidade do exercício ou sua interrupção ocorreria como resultado da ativação neural gerada por uma resposta integrada dos benefícios (alimentação e reprodução) e riscos da continuidade do exercício (balanço energético negativo, danos físicos e morte). A ativação neural seria modulada pela: 1) taxa de acúmulo de calor, 2) osmolalidade plasmática, 3) concentração dos íons H^+ , 4) disponibilidade de oxigênio, 5) perfusão sanguínea, 6) níveis de armazenamento de carboidrato, 7) níveis de dióxido de carbono e 8) ritmo circadiano. Essa ativação seria continuamente percebida pelo sistema nervoso central para modular a atividade do córtex motor, resultando em aumento da motivação ou em redução – este caso caracterizaria a fadiga. Em determinadas situações, um forte estímulo poderia inibir o mecanismo de fadiga, o que resultaria em continuidade do exercício até o momento de ruptura da homeostase, reduzindo involuntariamente a potência muscular e caracterizando assim a exaustão. A possível plasticidade neural, ou seja, nova expressão fenotípica estimulada pelo exercício, permitiria a aprendizagem, algumas das adaptações induzidas pelo treinamento físico, a aclimação e a adaptação às mudanças do ambiente. **Fonte: Adaptado de Martini (2009)**

Outro modelo teórico que vem sendo utilizado para explicar a fadiga é o Modelo do Regulador Central, proposto por Gibson, Noakes e Lambert em 2004. De acordo com esta proposta, o exercício é iniciado com auxílio do mecanismo de pré-alimentação que permite o recrutamento de uma quantidade apropriada de unidades motoras nos músculos ativos. A extensão deste recrutamento será determinada pela integração de diversos fatores, como: estado emocional, fadiga mental, privação de sono, recuperação física, motivação, conhecimento da tarefa, dentre outros (FIGURA 2).

Sendo assim, o exercício inicia-se a uma intensidade que o cérebro determinaria como possível de ser sustentada de acordo com a expectativa da duração da tarefa, incluindo informações precisas da distância percorrida e do ponto de término da prova (ULMER HV, 1996). Ao longo da duração do esforço físico, ocorrem ajustes no ritmo, contração a contração, através da retroalimentação das áreas conscientes do cérebro. O ritmo é modificado, o que possibilita reduzir o esforço fisiológico requerido para realizar uma quantidade constante de trabalho. Dessa forma, a fadiga é entendida como uma emoção derivada do cérebro que regula o comportamento durante o exercício para assegurar uma proteção à homeostase corporal (NOAKES, 2012).

Figura 2: Modelo do Governador Central.



A regulação do exercício é modulada pelo cérebro através de uma modificação contínua no número de unidades motoras que são recrutadas nos músculos ativos. O propósito deste controle é assegurar que o ser humano sempre se exercite com uma reserva e termine o exercício antes que o organismo fique impossibilitado de reestabelecer uma condição de homeostase. O cérebro induz sensações não prazerosas (fadiga) para que a intensidade e a duração do exercício estejam dentro da capacidade fisiológica do indivíduo. O desempenho ideal é atingido pelos atletas que melhor controlam a progressão das sensações não prazerosas durante o exercício.

Amann *et al.* (2008) demonstraram uma função importante das vias aferentes na determinação da taxa de percepção do esforço e do tempo de exercício até a fadiga. Neste estudo, o bloqueio das modulações autonômicas dos músculos ativos durante o exercício provocou um maior estresse cardiovascular e reduziu o desempenho físico. Vale ressaltar que as respostas cardiovasculares induzidas pelo exercício ocorrem através de processos que envolvem os receptores periféricos, mas que também envolvem as vias eferentes autonômicas simpáticas e parassimpáticas, as quais podem ser avaliadas indiretamente e de forma não invasiva por meio da medida da variabilidade da frequência cardíaca (VFC).

Durante exercícios prolongados a fadiga também é influenciada pela termorregulação. A temperatura ambiente influencia o desempenho físico em exercícios aeróbios de longa duração, de forma que temperaturas ambientais elevadas estão associadas a um menor desempenho, enquanto que determinadas temperaturas frias ótimas resultam em melhora do mesmo (RACINAIS 2010; GALLOWAY e MAUGHAN, 1997).

O estresse gerado pelo ambiente quente reduz o volume sistólico e aumenta a FC durante exercícios de intensidade moderada, comprometendo assim o débito cardíaco (GONZÁLEZ-ALONSO, 1999). A combinação da intensidade do exercício e do estresse gerado pelo ambiente quente impõe um grande desafio ao sistema cardiovascular, principalmente para a regulação da temperatura interna, da pressão arterial e do fornecimento de oxigênio para o coração, o cérebro e os músculos ativos (GONZÁLEZ-ALONSO, 2012). Dessa maneira, durante o exercício aeróbio realizado no ambiente quente, o sistema cardiovascular é conduzido mais rapidamente ao limite da sua capacidade regulatória, contribuindo assim para a redução do desempenho. De fato, pesquisadores vêm atribuindo um papel principal ao sistema cardiovascular como responsável pela redução do desempenho aeróbio em ambiente quente (CHEUVRONT *et al.*, 2010).

Contudo, ainda existe pouca informação acerca das relações entre a atividade autonômica cardiovascular e a fadiga durante o exercício físico agudo. Assim, a compreensão de tais relações, por meio das medidas da VFC e do desempenho físico, pode contribuir para o entendimento da participação do sistema cardiovascular na modulação da fadiga aguda, em particular em ambientes quentes.

1.2 Histórico da Variabilidade Cardiovascular

Em 1733, Stephen Hales (1677-1761) foi o primeiro fisiologista a relatar que a PA e o intervalo de tempo entre batimentos cardíacos consecutivos variavam durante o ciclo respiratório (HALES, 1733). No ano de 1847, Carl Ludwig (1816-1895) criou um dispositivo que permitia a medida da atividade mecânica durante a ventilação pulmonar (quimógrafo). A partir desta criação, Ludwig relatou experiências pioneiras que demonstravam oscilações periódicas no tempo e na amplitude da PA ao longo da

respiração (Ludwig, 1847). Ludwig utilizou um cão em seus experimentos e observou que o pulso regularmente aumentava durante a inspiração e reduzia durante a expiração, registrando assim o que posteriormente foi denominado de arritmia sinusal respiratória.

No final do século XIX e início do século XX, Willem Einthoven (1860-1927) produziu o primeiro registro contínuo da atividade elétrica do coração por meio da utilização de um galvanômetro, equipamento que possibilita medir de forma precisa mudanças de correntes elétricas. Dessa forma, através do surgimento e a padronização do eletrocardiograma (ECG), tornou-se possível a análise das mudanças no ritmo cardíaco batimento a batimento.

Na década de 1960, a partir do desenvolvimento do ECG ambulatorial (Holter) e a consequente obtenção de longos períodos de registro (por exemplo, 24h), foi possível a compreensão da relação entre variações no intervalo de pulso medidas em batimentos cardíacos consecutivos e a existência de determinadas doenças. Dessa forma, por meio dos avanços de técnicas de processamento de sinais digitais, tornou-se possível quantificar e avaliar variações súbitas, medidas batimento a batimento, dos parâmetros cardiovasculares (BILLMAN, 2011). Em 1965, Hon e Lee verificaram uma importante relação entre a redução da VFC e o aumento do sofrimento fetal (VANDERLEI *et al.*, 2009).

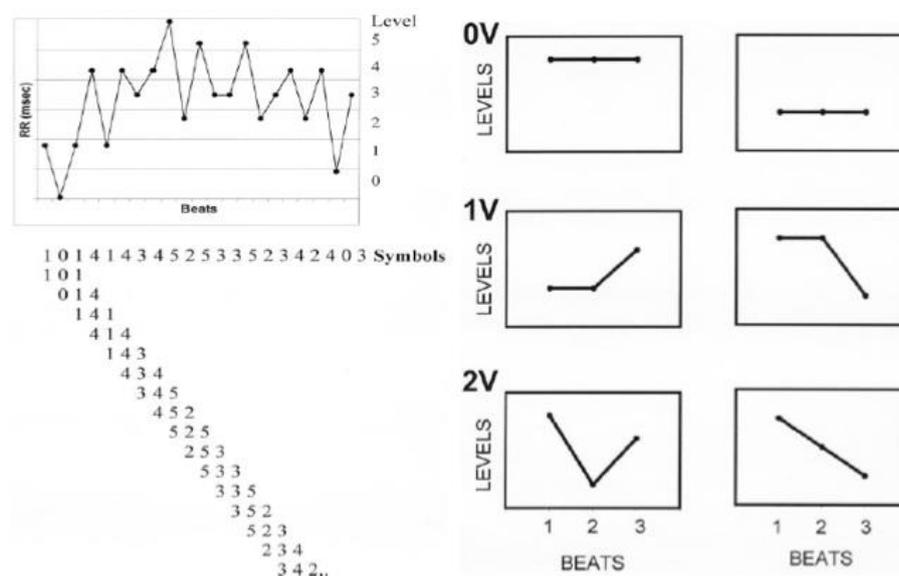
No início da década de 1970, diversos grupos de pesquisa utilizaram análises de poder espectral para investigar as bases fisiológicas de componentes de frequência individuais que compõem a VFC (AKSEROLD, 1981). Sendo assim, os métodos de análises no domínio do tempo e no domínio da frequência se tornaram, aos poucos, bastante comuns neste campo de pesquisa. Em 1977, Wolf *et al.* demonstraram a existência de uma correlação inversa entre a VFC de repouso e o risco de morte após infarto agudo do miocárdio (VANDERLEI *et al.*, 2009).

Recentemente, técnicas derivadas da “Teoria do Caos” como, por exemplo, a entropia e a análise simbólica, têm sido utilizadas para avaliar a dinâmica não linear da VFC (PORTA *et al.*, 2007; GUZZETTI *et al.*, 2005). A entropia (por exemplo: entropia de Shannon) é utilizada para quantificar a complexidade dos padrões de distribuições

dos intervalos R-R. Por sua vez, a análise simbólica também é um método não linear, que permite a transformação de uma série temporal (intervalos R-R) em padrões curtos de três batimentos, os quais são classificados de acordo com sua taxa de ocorrência.

Dessa forma, uma sequência de intervalos R-R é determinada e, posteriormente, as amplitudes são inseridas em blocos de três sequências, sendo classificadas conforme seu respectivo nível (FIGURA 3A). As distribuições destes intervalos são classificadas da seguinte maneira: 0V – padrões sem variações – todos os símbolos são iguais; 1V – padrão com uma variação – dois símbolos são iguais e o remanescente é diferente; 2V – padrão com duas variações – todos os símbolos são diferentes (FIGURA 3B).

Figura 3:



A) Método não linear de análise da variabilidade da frequência cardíaca - Análise simbólica e B) Classificação do padrão de variação.

Fonte: Guzzetti *et al.* 2005.

A medida da VFC é influenciada por diversos fatores, como por exemplo, os batimentos ectópicos e as arritmias cardíacas. Nestas condições, os valores dos intervalos R-R tornam-se inadequados para a realização da análise. Os métodos lineares no domínio do tempo e da frequência são considerados a forma mais simples de realizar a análise dos intervalos R-R (TASK FORCE, 1996). Contudo, estes métodos não consideram as dinâmicas não lineares dos sistemas fisiológicos (PORTA *et al.*, 2007) e podem não ser adequados para a análise das instabilidades de curto prazo causadoras

das arritmias (GUZZETTI *et al.*, 2005). Isto ocorre, provavelmente, devido à presença de pequenos transientes instáveis nas dinâmicas dos intervalos R-R.

Os métodos não lineares são capazes de caracterizar sistemas complexos, os quais são observados nos sistemas fisiológicos dos seres humanos, devido sua natureza imprevisível (VANDERLEI *et al.*, 2009). Dessa forma, os métodos derivados da teoria do caos são considerados promissores para as análises da VFC. Porém, existe uma lacuna na padronização e no escopo destes métodos (TASK FORCE, 1996) e mesmo sendo mais adequados para a análise de sistemas imprevisíveis, estes ainda são determinísticos. Além disso, é necessário um maior aprofundamento científico, utilização de amostras expressivas e um acompanhamento prolongado dos indivíduos (TASK FORCE, 1996).

1.3 Variabilidade da Frequência Cardíaca

A regulação neural do sistema cardiovascular durante o exercício é uma resposta integrada entre o comando central, o reflexo pressor do exercício e os barreflexos arteriais e cardiopulmonares (FADEL e RAVEN, 2011). O comando central é um mecanismo de controle cardiorrespiratório, que envolve áreas dos centros superiores do cérebro, as quais são ativadas pelo exercício. Essas áreas ativam de forma paralela e simultânea as redes de controle neural cardiovascular e de controle somático (estímulos neurais direcionados para os músculos esqueléticos ativos; MICHELINI *et al.*, 2015). Dessa forma, por meio da pré-alimentação e da interação com o reflexo pressor do exercício, o comando central determina a intensidade de recrutamento das unidades motoras, estabelecendo assim um padrão básico da atividade motora das fibras musculares.

O reflexo pressor do exercício é formado por receptores localizados nos músculos esqueléticos (mecanorreceptores e quimiorreceptores) e, principalmente pelo arco aferente composto pelas fibras sensoriais dos grupos de III e IV (IELLAMO 2001). A medida que o fluxo sanguíneo e a oferta de oxigênio não são suficientes para suprir a demanda metabólica do exercício, o aumento dos produtos residuais nas fibras musculares, incluindo o acúmulo de íons H^+ , provocam a ativação das fibras III e IV. Assim, essas informações são enviadas por meio das vias aferentes até as áreas de

controle cardiovascular e, com auxílio do sistema nervoso autônomo (SNA), promovem o aumento da atividade simpática para o coração e para os vasos sanguíneos, aumentando assim a PA durante o exercício.

O barorreflexo arterial é um mecanismo de controle das oscilações agudas na PA. Este reflexo é composto por mecanorreceptores localizados na artéria aorta e no seio carotídeo, os quais são sensíveis ao estiramento na parede das artérias. O barorreflexo possui um ponto ótimo de operação. No momento em que a PA se desvia da faixa adequada para manutenção do fluxo sanguíneo tecidual, os barorreceptores são acionados com o objetivo de reajustar a PA aos níveis basais (repouso). Existe uma relação inversa entre a FC e a PA. O núcleo do trato solitário, localizado no bulbo e as áreas suprabulbares são responsáveis por integrar a frequência de estímulos e o potencial de ação gerado pelos barorreceptores.

Em condições de repouso, no momento que a PA aumenta, os barorreceptores tornam-se mais ativos e enviam estas informações para as áreas de controle cardiovascular. Dessa forma, o SNA aumenta a atividade parassimpática para o coração e, conseqüentemente, reduz a FC (bradicardia). Durante o exercício ocorre aumento concomitante da FC e da PA, como conseqüência de um reajuste no ponto de operação do barorreflexo. Sendo assim, para suprir a demanda metabólica nos músculos ativos, a pressão de perfusão precisa ser aumentada e, para isso, a FC e a PA são aumentadas de forma concomitante (diferentemente das condições de repouso).

O barorreflexo cardiopulmonar está envolvido na geração e manutenção da resposta neural cardiovascular durante o exercício físico (FADEL e RAVEN, 2011). O barorreflexo cardiopulmonar é formado por receptores de baixa pressão, os quais estão localizados no coração e nas grandes veias e vasos sanguíneos do pulmão. Estes receptores são sensíveis a mudanças no volume central e contribuem para a modulação da atividade simpática nos músculos. Dessa forma, a interação entre estes quatro mecanismos (comando central, reflexo pressor do exercício, barorreflexo arterial e barorreflexo cardiopulmonar) contribuem fortemente para os ajustes neurais do sistema cardiovascular durante o exercício que, por sua vez, modificarão a atividade do SNA direcionada ao coração e aos vasos sanguíneos. Esta atividade autonômica pode ser determinada indiretamente e de forma não invasiva por meio da análise da VFC.

A VFC é analisada por meio da medida dos intervalos R-R (KAWAGUCHI *et al.*, 2007). Além da atividade intrínseca do nodo sinusal, a atividade cardíaca é modulada pelo SNA. O nodo sinusal é inervado tanto por fibras simpáticas quanto por fibras parassimpáticas, sendo que o aumento da atividade simpática induz ao aumento da FC e o aumento da atividade vagal reduz a FC. O estado de equilíbrio do tônus simpático e parassimpático é necessário para diversas funções vitais, tais como o controle do calibre dos vasos sanguíneos, da FC e da motilidade gastrointestinal (ARMSTRONG e VAN HEEST 2002).

A VFC representa um instrumento de avaliação que permite analisar as respostas do SNA a diferentes estresses fisiológicos (BRENNER *et al.*, 1997), sendo que sua análise geralmente é realizada através de métodos lineares no domínio do tempo e no domínio da frequência. O poder espectral da VFC apresenta três picos principais em indivíduos saudáveis: 1) os picos de muito baixa frequência (VLF) que estão relacionados à influência de hormônios circulantes, do tônus termorregulatório e de pequenas variações da atividade do SNA; 2) os picos de baixa frequência (LF) que são mediados tanto pelo sistema nervoso parassimpático (SNP) quanto pelo sistema nervoso simpático (SNS); 3) e os picos de alta frequência (HF) que estão associados às flutuações moduladas apenas pelo SNP (BRENNER *et al.*, 1997).

Além disso, o balanço simpato-vagal pode ser estimado por meio do cálculo da razão entre os componentes de baixa e alta frequência (LF/HF), sendo que aumentos nesta razão, vêm sendo utilizados como um indicativo de aumento da atividade simpática cardíaca. Assim, em condições de repouso, uma VFC elevada é um sinal que o indivíduo encontra-se saudável e com mecanismos autonômicos eficientes. Em contrapartida, uma VFC reduzida é considerada um indicador de adaptação anormal e insuficiente do SNA, podendo configurar um mau funcionamento fisiológico.

Durante o exercício físico, o aumento inicial da FC é decorrente da retirada do tônus vagal e o aumento adicional é resultante da estimulação simpática. A resposta da FC durante o exercício é resultante do comando central, dos reflexos cardiovasculares (reflexo pressor do exercício e barorreflexo) que, por meio do SNA, possibilitam a adaptação do sistema cardiovascular à demanda metabólica do indivíduo (ALBERT *et al.*, 2003).

1.4 Termorregulação e VFC

O ser humano é um animal homeotérmico, ou seja, a sua temperatura corporal interna é regulada dentro de limites estreitos, apesar de variações amplas na temperatura ambiente (IUPS, 2001). Em situações de repouso ou exercício, a energia térmica (calor) é produzida em todas as células do corpo através da conversão da energia metabólica (química) em calor. Entretanto esse processo de conversão é pouco eficiente, sendo que durante o exercício apenas cerca de 30% da energia produzida nas vias metabólicas é utilizada no processo de contração muscular; aproximadamente 70% da energia é liberada na forma de calor. (GONZÁLEZ-ALONSO *et al.*, 2012).

O acúmulo de calor nos tecidos do corpo depende principalmente da relação entre o calor produzido e o calor dissipado e, em menor extensão, da eficiência no aproveitamento de energia durante o trabalho mecânico (GONZÁLEZ-ALONSO *et al.*, 2012). Dessa forma, o acúmulo excessivo de calor pode comprometer as funções fisiológicas das células e dos órgãos, podendo levar a prejuízos do desempenho físico humano (GONZÁLEZ-ALONSO *et al.*, 1999).

Além de ser modificada pelos seguintes fatores - modulação simpático-vagal, oscilações fisiológicas (centro vasomotor e respiratório) e fatores humorais (FLOURIS *et al.*, 2014), a VFC também pode ser alterada pelo estresse térmico ambiental, tanto em condições de repouso quanto em condições de exercício. Brenner *et al.* (1997) reportaram que, durante a exposição passiva ao calor (40°C – 30% URA), a VFC tende a ser semelhante ou até mesmo reduzir em relação aos valores observados em ambiente temperado (23°C – 40% URA). Em situações de exercícios submáximos (2 séries de 30 minutos à 50% do $VO_{2máx}$; intervalo de 45 minutos entre as séries) realizados nas mesmas condições ambientais descritas acima, os intervalos R-R, os índices LF e HF (que representa a atividade do SNP) foram menores no ambiente quente em relação ao ambiente temperado (Vale ressaltar que as alterações da VFC induzidas pelo exercício em ambiente frio ainda não foram caracterizadas).

Sollers *et al.* (2002) compararam as respostas da FC e da VFC de indivíduos em repouso e expostos a diferentes temperaturas ambientais (12°C, 22°C e 35°C). Neste trabalho foi demonstrado que a FC de repouso foi maior no ambiente quente em relação

ao temperado, porém não houve diferenças entre o ambiente temperado e o ambiente frio. O componente de muito baixa frequência (VLF) aumentou significativamente no frio em relação ao ambiente temperado e ao ambiente quente. O componente de baixa frequência (LF) apresentou aumentos significativos no ambiente quente em relação aos demais ambientes. Já o componente de alta frequência (HF) apresentou uma redução no ambiente quente quando comparado aos ambientes frio e temperado, demonstrando assim uma supressão do SNP, que por sua vez proporcionou aumentos na FC.

1.5 Fadiga e VFC

O exercício físico é um estímulo que modifica a homeostase corporal. Dependendo da sua intensidade e/ou duração, este estímulo pode representar uma situação de estresse para o organismo, que exigiria o desencadeamento de respostas fisiológicas para que o corpo atinja um novo estado equilíbrio dinâmico (MASTORAKOS *et al.*, 2005). Sendo assim, o exercício provoca alterações no funcionamento dos sistemas fisiológicos, induzindo, dentre outras, respostas cardiovasculares e termorregulatórias que são mediadas por mecanismos autonômicos (ALONSO *et al.*, 1998). Entretanto, a atividade do SNA é comumente medida por meio de métodos invasivos, os quais têm aplicação limitada na fisiologia do exercício e em estudos envolvendo seres humanos. Dessa forma, o estudo da VFC permite uma análise não invasiva do controle neural da FC durante o exercício (ALONSO *et al.*, 1998). Recentemente, a análise da VFC vem sendo utilizada no contexto esportivo para avaliar o estado crônico de fadiga dos atletas.

O aumento crônico do tônus simpático é verificado em atletas em estado de fadiga crônica (*overtraining*), uma síndrome caracterizada por adaptações prolongadas não desejadas e por redução sustentada do desempenho esportivo (MEEUSEN *et al.*, 2013). Por outro lado, a predominância do tônus parassimpático é observada em atletas que possuem um aumento adequado do volume de treinamento, ou seja, progressões da carga capaz de induzir adaptações positivas (ARMSTRONG e VAN HEEST 2002).

Diversas ferramentas têm sido propostas para avaliar o estado de *overtraining* na rotina diária de atletas, incluindo a análise da VFC (MEEUSEN *et al.*, 2013). De acordo com o estudo de Schmitt (2013), os valores dos componentes que descrevem a resposta da VFC foram significativamente menores nos atletas em estado de fadiga crônica, em

comparação com os valores dos atletas que não se encontravam nesta situação. Assim, a fadiga crônica está associada com a redução das oscilações da VFC, bem como as reduções nos componentes LF e HF obtidos a partir da análise espectral da VFC (AUBERT *et al.*, 2003; MAKIVIC *et al.*, 2013; BAUMERT *et al.*, 2006).

Apesar de a VFC ser usualmente utilizada para avaliação do estado de fadiga crônica em atletas, ainda não se estudou a associação entre a VFC e a fadiga durante exercícios físicos agudos. Estudo recente do nosso laboratório demonstrou que animais submetidos à remoção cirúrgica dos barorreceptores arteriais apresentavam menores valores de VFC e desempenho físico reduzido em dois diferentes protocolos de exercício, tanto em ambiente temperado (25°C) quanto em ambiente quente (30°C; PIRES *et al.*, 2013). Os autores sugeriram que a perda do balanço autonômico cardíaco “normal” poderia estar associada à redução do desempenho físico dos animais desnervados. Tendo como base os achados do estudo de Pires *et al.*, (2013), nós consideramos importante investigar se a VFC pode estar associada ao desempenho físico de seres humanos saudáveis, submetidos ao exercício em diferentes condições ambientais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Verificar se existe associação entre a VFC e o desempenho físico durante o exercício até a fadiga realizado em diferentes temperaturas ambientais.

2.2 Objetivos específicos

- 1) Comparar os efeitos da temperatura ambiente sobre os parâmetros da VFC em condições de repouso e durante os exercícios prolongados.
- 2) Verificar se existe associação entre os parâmetros da VFC e o desempenho físico durante os exercícios prolongados em cada um dos três ambientes.
- 3) Verificar se a redução do desempenho físico causado pelo ambiente quente está associada às alterações dos parâmetros da VFC.
- 4) Verificar se o aumento do desempenho físico causado pelo ambiente frio está associado às alterações dos parâmetros da VFC.

3 HIPÓTESES

H₁: As temperaturas ambientais modificarão os parâmetros da VFC tanto em repouso quanto durante os exercícios prolongados.

H₂: Existirá associação entre os parâmetros da VFC e o desempenho físico durante os exercícios prolongados em cada um dos três ambientes.

H₃: A redução do desempenho causada pelo ambiente quente estará associada às alterações nos parâmetros da VFC.

H₄: O aumento do desempenho causado pelo ambiente frio estará associado às alterações nos parâmetros da VFC.

4 MÉTODOS

4.1 Cuidados éticos e caracterização da amostra

Este estudo respeitou as normas estabelecidas pelo Conselho Nacional de Saúde (Resolução 466/2012) e foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG (protocolo 43194015.2.0000.5149). O tamanho amostral foi determinado por meio de um cálculo realizado no *software* GPOWER, no qual utilizamos o tempo total do exercício; uma das variáveis principais do presente estudo. Os voluntários eram estudantes de Educação Física, do gênero masculino, possuíam entre 18 e 35 anos e foram considerados aptos para a prática de exercício físico de acordo com o questionário de prontidão para a atividade física (PAR-q). Nenhum dos voluntários fazia o uso de medicamentos ou apresentava diagnóstico de doenças físicas, neurológicas ou cardíacas durante a realização dos experimentos. A caracterização antropométrica e funcional dos voluntários está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização da amostra

Amostra (n)	Idade (anos)	Massa Corporal (kg)	Estatura (cm)	Gordura Corporal (%)	VO₂máx (mlO₂.kg⁻¹.min⁻¹)	P_{máx} (W)
9	23,3 ± 3,8	73,3 ± 10,8	176,1 ± 9,1	10,5 ± 3,0	44,0 ± 5,6	249,7 ± 38,8

Os dados estão expressados como média ± DP.

4.2 Delineamento experimental

Inicialmente, foi realizada uma reunião com cada voluntário para a explicação dos objetivos e dos procedimentos adotados, além da apresentação dos possíveis riscos e desconfortos associados com a participação no estudo. Os voluntários que aceitaram participar desta pesquisa, assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e responderam o questionário mencionado anteriormente. Os voluntários realizaram sete visitas ao laboratório, em dias diferentes, sendo a primeira visita para a realização dos procedimentos pré-experimentais e as outras seis para a realização dos procedimentos experimentais (FIGURA 4).

A familiarização, os testes de Balke modificados e os exercícios prolongados foram realizados dentro de uma câmara ambiental (modelo WMD 1150-5, Russels Technical Products®, Holland, MI, EUA), onde foi possível manipular as temperaturas ambientes seca e úmida. A primeira visita ao laboratório ocorreu com a finalidade de caracterizar a amostra e familiarizar o voluntário ao teste progressivo (Teste de Balke modificado), ao exercício prolongado (40 minutos de exercício) com aumentos graduais da intensidade e às medidas fisiológicas que foram realizadas no estudo. A familiarização ocorreu em uma temperatura ambiente de 26°C e o intervalo de recuperação entre o teste de Balke modificado e o exercício prolongado foi de 30 minutos.

A segunda, terceira e quarta visitas foram destinadas à realização de testes de Balke modificados (aumentos progressivos da intensidade até a fadiga), sendo realizado um teste por visita, nos ambientes de 12°C, 26°C e 40°C. Os testes foram realizados para a determinação da potência máxima em cada ambiente e a ordem dos mesmos foi balanceada e aleatória. Nas últimas três visitas, os voluntários realizaram exercícios prolongados, sendo realizado um exercício por visita, novamente nos três ambientes descritos acima. A ordem dos exercícios prolongados também foi balanceada e aleatória (Quadro 2). A umidade relativa do ar durante a familiarização e as situações experimentais foi sempre controlada em 50%.

Os exercícios físicos foram realizados em uma bicicleta acoplada a um rolo eletromagnético (Computrainer®, USA), ajustado e calibrado anteriormente a cada situação de acordo com as instruções do fabricante. A FC foi continuamente mensurada desde 30 minutos antes do exercício até os voluntários interromperem o mesmo. A FC de repouso e durante o exercício foi monitorada e registrada através do sistema Polar® RS800CX. A análise da VFC foi realizada, posteriormente, por meio de métodos lineares no domínio do tempo e da frequência em um programa denominado CardioSeries v2.4.

Figura 4 – Ordem dos procedimentos experimentais

Caracterização da amostra Familiarização	Medidas antropométricas	Testes Progressivos	Repouso prévio: 10 minutos	Exercícios Prolongados	Repouso prévio: 30 minutos
	Aplicação do TCLE e PAR-q		Testes: 50 W – aumentos de 25 W a cada 2 minutos; cadência de 70 rpm		Exercício: 40% da potência máxima, com acréscimos de 2% da P _{máx} a cada 8 minutos; cadência de 70 rpm
	Familiarização (26°C):		Duração: até a fadiga		Duração: até a fadiga
	Teste Progressivo		Ambientes: 12°C, 26°C e 40°C		Ambientes: 12°C, 26°C e 40°C
	Exercício Prolongado				

4.3 Procedimentos anteriores às situações experimentais

4.3.1 Orientações fornecidas aos voluntários

Todos os voluntários foram orientados a: 1) evitar o uso de qualquer tipo de medicamento durante a participação na pesquisa; 2) abster-se da ingestão de álcool e cafeína e da prática de exercícios físicos vigorosos, 48 h antes de qualquer uma das sessões de coleta de dados; 3) registrar a alimentação no dia anterior às situações experimentais e tentar reproduzir essa alimentação nos dias anteriores às situações subsequentes; 4) chegar ao laboratório em jejum.

Quadro 1: Descrição do café da manhã fornecido aos voluntários

Alimento	Porções	Massa(g)	Valor Energético (kcal)	Proteínas (g)	Carboidratos (g)	Gorduras Totais (g)
Pão de Forma	2 fatias	50	126	4,6	25	0,9
Geleia	À vontade	20	54	0	13	0
Barra de Cereal	1 unidade	21	93	1,8	13	4,0
Suco de Uva	300ml	-	174	0	43,5	0
Massa fracionada dos nutrientes (g)			-	6,4	94,5	4,9
Conteúdo calórico (calorias)			447	-	-	-
Teor percentual dos nutrientes (%)			100%	5,5%	85,9%	8,6%

OBS: os valores nutricionais em relação à geleia são referentes a uma colher de sopa ou 20g.

4.3.2 Massa corporal

A massa corporal (kg) foi medida com os voluntários descalços e usando apenas short e meias, utilizando-se uma balança digital (Filizola® - MF-100, Brasil) com precisão de 0,02 kg, previamente calibrada.

4.3.3 Estatura

A estatura foi medida com os voluntários descalços, por meio de um estadiômetro com precisão de 0,5 cm e acoplado a uma balança mecânica (Filizola[®], Brasil).

4.3.4 Gordura Corporal

A estimativa da gordura corporal (%) foi realizada por meio da medida da espessura de 8 dobras cutâneas (tríceps, bíceps, peitoral, subaxilar, suprailíaca, abdominal, coxa e perna). As medidas foram realizadas por um mesmo avaliador que utilizou um plicômetro científico graduado em milímetros (Lange[®], EUA). As dobras cutâneas foram medidas no lado direito do corpo conforme descrito por Heyward e Stolarczyk (2000). O percentual de gordura foi calculado de acordo com o protocolo proposto por Jackson e Pollock (1978).

4.4 Testes de Balke modificados

Os voluntários chegaram em jejum ao Laboratório de Fisiologia do Exercício (LAFISE) da UFMG entre 6 h e 7 h da manhã. Dessa forma, foi fornecido ao voluntário um café da manhã elaborado por um nutricionista membro do laboratório, composto por: 2 fatias de pão de forma com geleia de morango ou framboesa, sendo a geleia oferecida à vontade; aproximadamente 300ml de suco de uva, 100 ml de água e uma barra de cereal. Os voluntários ficaram em uma sala do laboratório onde os mesmos esperaram 60 minutos entre o desjejum e os testes de Balke.

Em seguida, os voluntários foram conduzidos ao vestiário para colocar uma vestimenta adequada para a realização do teste. Por fim, foi colocado um cardiofrequencímetro nos voluntários e estes entraram na câmara ambiental. Antes de iniciar os testes, os voluntários ficaram sentados em uma cadeira e foram submetidos a uma exposição passiva de 10 minutos na temperatura ambiente referente a cada um dos três testes.

Visando determinar a potência máxima ($P_{\text{máx}}$) dos voluntários, foram realizados testes progressivos (Balke e Ware, 1959 - modificados) com estágios de 2 minutos (FIGURA 5). A intensidade inicial foi de 50 W, com acréscimos de 25 W ao término de cada estágio, até a interrupção voluntária do esforço. A cadência deveria ser sempre mantida a 70 rpm durante os testes. O voluntário recebeu estímulos verbais padronizados durante os testes. A FC e a percepção subjetiva do esforço (PSE) foram registradas ao final de cada estágio e no momento da interrupção do esforço. No total, cada voluntário realizou quatro testes progressivos: um durante a familiarização (a 26°C) e mais três testes nas seguintes condições ambientais: 12°C, 26°C e 40°C. As condições ambientais foram registradas através de um medidor de estresse térmico (INSTRUTHERM – modelo: TGD 200) que permitiu a visualização dos valores de temperatura seca e úmida para ambientes internos. A umidade relativa do ar foi calculada através da tabela criada pelo “Bulletin of the U.S. Weather Bureau No. 1071” (Anexo B).

A $P_{\text{máx}}$ foi calculada de acordo com a equação proposta por Kuipers *et al.* (1985):

$$P_{\text{máx}} = W_1 + (W_2 \times t/120)$$

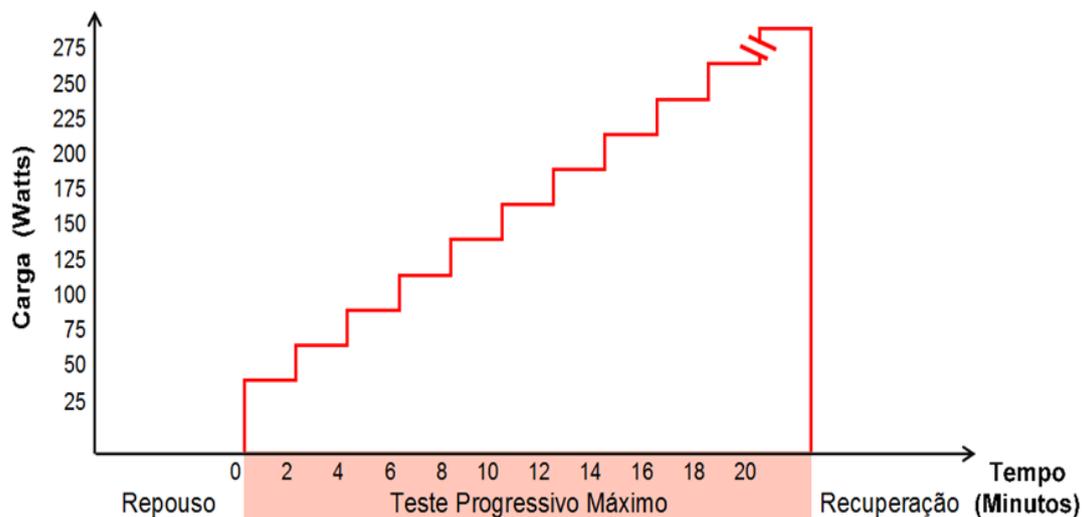
sendo que W_1 representa a potência referente ao último estágio completo; W_2 corresponde ao incremento de carga de cada estágio; e t é o tempo em segundos de duração do estágio incompleto.

O $VO_{2\text{máx}}$ foi estimado pela equação proposta por Balke e Ware (1959) a partir do valor da potência máxima medida no teste.

$$VO_{2\text{máx}} (\text{mlO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) = 200 + (12 \times W)/P(\text{kg})$$

Sendo que W é a potência em Watts em que se interrompeu o teste e P corresponde ao peso em kg. Os seguintes critérios foram utilizados para determinar a interrupção do teste: solicitação de interrupção pelo voluntário; nota igual a 20 na escala de PSE; incapacidade de manter a cadência estipulada; presença de sintomas como tontura, confusão mental, falta de coordenação, palidez, cianose, náusea ou pele fria e úmida (ACSM, 2010).

Figura 5: Ilustração gráfica do protocolo utilizado durante o teste progressivo para a determinação da $P_{\text{máx}}$.



4.5 Situações experimentais

Os voluntários chegaram ao LAFISE entre 6 h e 7 h da manhã. Logo em seguida foi disponibilizado um café da manhã, composto de: 2 fatias de pão de forma com geleia de morango ou framboesa, 300ml de suco de uva, 100 ml de água e uma barra de cereal; além disso, foi dado um intervalo de 60 minutos entre o desjejum e o início da realização dos procedimentos pré-experimentais.

Sendo assim, os voluntários foram conduzidos para o vestiário onde: vestiram uma roupa adequada para a realização do exercício; forneceram uma amostra de urina; e inseriram uma sonda retal. Além disso, foi medida a massa corporal pré-exercício e foi colocado um cardiófrequencímetro nos voluntários. Por fim, os voluntários foram direcionados para dentro da câmara ambiental, onde os mesmos ficaram deitados em uma maca durante um período de 30 minutos na temperatura ambiente referente a cada situação experimental (FIGURA 6).

Figura 6: Repouso de 30 minutos dentro da câmara ambiental.



Foram realizadas três situações experimentais com um intervalo mínimo de 72 h entre as mesmas. Como o ritmo circadiano influencia as variáveis fisiológicas que foram medidas, todas as situações foram realizadas no mesmo horário do dia (período da manhã). A ordem das situações foi aleatorizada e balanceada através de um delineamento denominado quadrado latino (Quadro 2).

Quadro 2 – Ordem das situações experimentais

V1	40°C	26°C	12°C
V2	12°C	40°C	26°C
V3	26°C	12°C	40°C
V4	12°C	40°C	26°C
V5	40°C	26°C	12°C
V6	26°C	12°C	40°C
V7	12°C	40°C	26°C
V8	40°C	26°C	12°C
V9	26°C	12°C	40°C

As sessões de exercícios foram realizadas em ambiente frio (12°C), temperado (26°C) e quente (40°C), sempre com 50% de umidade relativa do ar. O protocolo de exercício realizado foi adaptado de De Barros (2007) e constituiu de ciclismo (FIGURA 7) que foi iniciando a uma potência de 40% da $P_{máx}$, com aumentos de 2% da $P_{máx}$ a cada 8 minutos até a interrupção voluntária, mantendo-se uma cadência de 70 rpm. Durante as situações experimentais foram medidas as seguintes variáveis: temperatura interna, temperatura da pele, concentrações sanguíneas de lactato, sensação térmica, conforto térmico, PSE, FC, gravidade específica da urina e volume de líquido ingerido (*ad libitum*; FIGURA 8).

Figura 7: Exercício prolongado de ciclismo dentro da câmara ambiental.

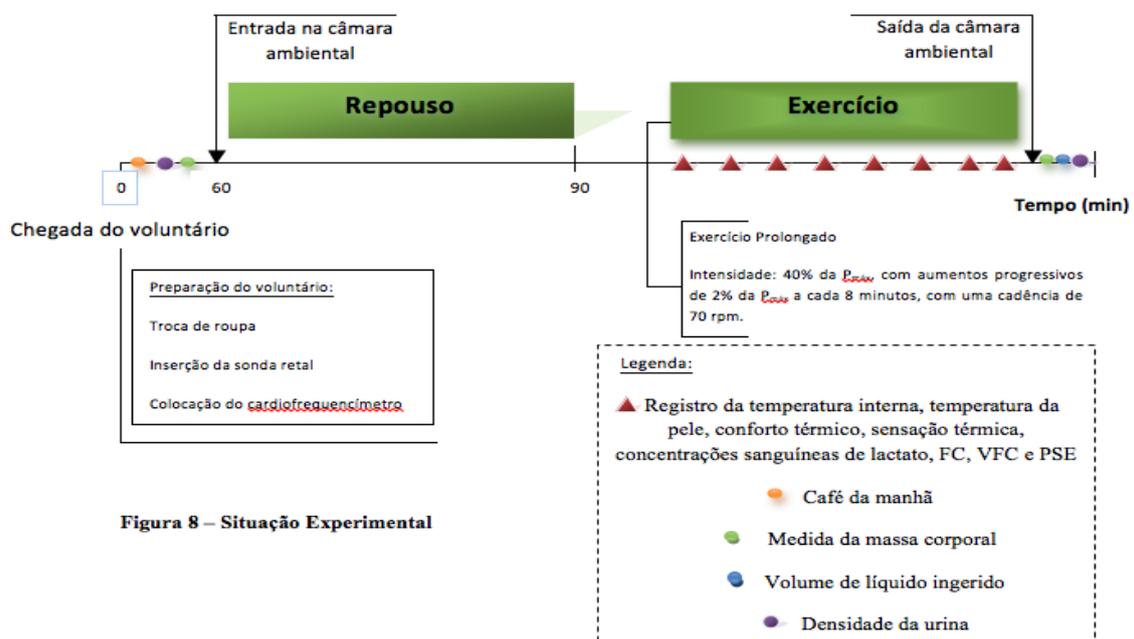


Figura 8 – Situação Experimental

4.6 Variáveis medidas

4.6.1 Temperatura corporal interna

A temperatura retal (T_{retal} , °C) foi adotada como índice da temperatura corporal interna. A T_{retal} foi medida continuamente por meio de uma sonda retal descartável (YSI - Yellow Spring Instruments, series 400, OH, EUA), inserida pelo próprio voluntário, aproximadamente 12 cm além do esfíncter anal. A sonda retal foi conectada a um teletermômetro digital, graduado em °C (YSI Precision 4000, Yellow Springs Inc., OH, EUA). A T_{retal} foi registrada nos momentos pré-exercício, a cada estágio do protocolo do exercício e ao final do mesmo.

4.6.2 Temperatura média da pele (T_{pele})

A temperatura média da pele (T_{pele} , °C) foi calculada a partir de medidas realizadas em oito locais diferentes da superfície corporal: testa, peito, braço, antebraço, mão, coxa, perna e escápula. A temperatura da pele foi medida por meio de um termômetro infravermelho (FLUKE, 566), com o auxílio de uma mira a laser, direcionada nas regiões mencionadas anteriormente, as quais foram marcadas previamente. Os registros foram feitos nos momentos pré-exercício, a cada estágio do protocolo de exercício e ao final do mesmo. Os valores obtidos nesses oito pontos foram utilizados para o cálculo da T_{pele} (°C) segundo a equação proposta por ISO9886 (2004).

$$T_{\text{pele}} = (0,07 \times T_{\text{testa}}) + (0,175 \times T_{\text{escápula}}) + (0,175 \times T_{\text{peito}}) + (0,07 \times T_{\text{braço}}) + (0,07 \times T_{\text{antebraço}}) + (0,05 \times T_{\text{mão}}) + (0,19 \times T_{\text{coxa}}) + (0,2 \times T_{\text{perna}})$$

Sendo: T_{pele} = temperatura média da pele; T_{testa} = temperatura da pele na testa; $T_{\text{escápula}}$ = temperatura da pele na escápula; T_{peito} = temperatura da pele no peito; $T_{\text{braço}}$ = temperatura da pele no braço; $T_{\text{antebraço}}$ = temperatura da pele no antebraço; $T_{\text{mão}}$ = temperatura da pele na mão; T_{coxa} = temperatura da pele na coxa; T_{perna} = temperatura da pele na perna.

4.6.3 Frequência Cardíaca e VFC

A FC (bpm) e a VFC foram monitoradas continuamente por telemetria, utilizando-se um cardiofrequencímetro (Polar RS800CX, Finlândia). Diversos grupos de pesquisa vêm utilizando esse sistema como uma fonte de registro dos intervalos R-R, que por sua vez são exportados do *software* PPT 5 e, se necessário, corrigidos para serem analisados posteriormente através de um *software* adequado (QUINTANA, HEATHERS e KEMP, 2012). Os valores absolutos de FC, assim como os valores da VFC, foram registrados nos momentos pré-exercício, a cada estágio do protocolo de exercício e ao final do mesmo. A VFC foi analisada em um programa denominado CardioSeries versão 2.4. Foram utilizados os métodos lineares no domínio do tempo (média, desvio padrão, variância, RMSSD) e no domínio da frequência (VLF, LF, HF, LF/HF, LF(nu), HF(nu)).

Quadro 3: Significado fisiológico proposto para os parâmetros da VFC

Variável	Unidade	Descrição	Significado Fisiológico Proposto
Métodos Lineares no Domínio do tempo			
Média	(ms)	Intervalo de pulso	Média do intervalo de tempo entre as sístoles ventriculares geradas pela modulação simpato-vagal.
Desvio	(ms)	Desvio padrão	Capacidade que o músculo cardíaco têm de responder aos estímulos externos. Influenciado pelas vias simpática e parassimpática.
Variância	(ms)	Variabilidade total	Representa a magnitude das variações dos batimentos cardíacos durante o período analisado. Influenciada pelas alças simpática e parassimpática.
RMSSD	(ms)	Raiz quadrada da média das diferenças sucessivas ao quadrado, entre R-R adjacentes	Indicador da atividade parassimpática cardíaca. Influenciado predominantemente pelo nervo vago.
Métodos Lineares no Domínio da frequência			
VLF	(ms ²)	Componente de muito baixa frequência	Indicador da atividade termorregulatória e do sistema renina angiotensina, sendo influenciado pela atividade simpática e parassimpática.
LF	(ms ²)	Componente de baixa frequência	Indicador da atividade do barorreflexo arterial, influenciado pela atividade simpática e parassimpática.
HF	(ms ²)	Componente de alta frequência	Indicador do ritmo respiratório, influenciado predominantemente pela ação do nervo vago.
LF/HF	-	Razão LF (ms ²) / HF (ms ²)	Representa o balanço simpato-vagal.
LF normalizado	(n.u.)	LF / (Poder total – VLF) x 100	Indicador da atividade simpática cardíaca.
HF normalizado	(n.u.)	HF (Poder total – VLF) x 100	Indicador da atividade parassimpática cardíaca.

4.6.4 Concentração sanguínea de lactato

A lactatemia ([Lac], mmol/L) foi medida nos momentos pré-exercício e ao final do mesmo. Após a punção da polpa digital, amostras de 30 μ L de sangue foram coletadas através de tubos capilares heparinizados, sendo imediatamente armazenadas em tubos plásticos de 1,5 mL, contendo 60 μ L de fluoreto de sódio (NaF), em uma caixa térmica com gelo. A [Lac] foi determinada em duplicata pelo método eletroenzimático (YSL 1500 SPORT, Yellow Springs, OH, EUA).

4.6.5 Percepção subjetiva do esforço

A PSE foi registrada a cada 4 minutos do protocolo de exercício e ao final do mesmo, por meio de uma escala proposta por Borg (1982). Esta escala varia entre “6” (muito fácil) e “20” (exaustivo), sendo que o indivíduo julgará o seu nível de esforço percebido.

Figura 9: Escala de percepção subjetiva do esforço, proposta por Borg e Noble (1974).

PERCEPÇÃO SUBJETIVA DE ESFORÇO
(Borg & Noble, 1974)

6	-
7	muito fácil
8	-
9	fácil
10	-
11	relativamente fácil
12	-
13	ligeiramente cansativo
14	-
15	cansativo
16	-
17	muito cansativo
18	-
19	exaustivo
20	-

4.6.6 Conforto térmico

O conforto térmico (CT) foi registrado nos momentos pré-exercício, a cada 4 minutos do protocolo de exercício e ao final do mesmo, por meio de uma escala adaptada de Fonseca (2007).

Figura 10: Escala de conforto térmico adaptada de Fonseca (2007).

+6	Muito desconfortável ao calor
+5	-
+4	Desconfortável ao calor
+3	-
+2	Pouco confortável ao calor
+1	-
0	Confortável
-1	-
-2	Pouco confortável ao frio
-3	-
-4	Desconfortável ao frio
-5	-
-6	Muito desconfortável ao frio

4.6.7 Sensação térmica

A sensação térmica (ST) foi registrada nos momentos pré-exercício, a cada 4 minutos do protocolo de exercício e ao final do mesmo, por meio de uma escala adaptada de Nakamura *et al.* (2008).

Figura 11: Escala de sensação térmica adaptada de Nakamura *et al.* (2008).

+8	Insuportavelmente quente
+7	-
+6	Muito quente
+5	-
+4	Quente
+3	-
+2	Levemente quente
+1	-
0	Neutro
-1	-
-2	Levemente frio
-3	-
-4	Frio
-5	-
-6	Muito frio
-7	-
-8	Insuportavelmente frio

4.6.8 Gravidade específica da urina

A gravidade específica da urina foi medida através do uso de um refratômetro portátil (modelo 301), com faixa de medição de 1.000 a 1.040 sg. Dessa maneira, os valores da densidade da urina foram classificados da seguinte forma (Armstrong *et al.*, 1994): valores inferiores a 1.013 sg demonstram que o indivíduo está bem-hidratado; entre 1.013 e 1.029 sg indicam um estado de eu-hidratação; e valores superiores a 1.029 sg significam que o indivíduo está hipo-hidratado. Nas situações em que o voluntário se apresentava em estado de hipo-hidratação, foi fornecido 500 ml de água aos voluntários e foi solicitado que aguardassem 30 minutos para garantir que houvesse um equilíbrio dos fluidos corporais (água e sais minerais) e para permitir que os voluntários iniciassem o exercício em um estado de eu-hidratação.

4.7 Variáveis calculadas

4.7.1 Variação da massa corporal

A variação da massa corporal foi determinada por meio da diferença entre os valores da massa corporal pré-exercício e da massa corporal pós-exercício.

4.7.2 Volume de líquido ingerido

A reposição de líquidos foi realizada de forma *ad libitum*. Os voluntários tinham à disposição garrafas de plástico com capacidade de 500 ml e que continham água. As garrafas foram armazenadas em uma geladeira com temperatura ambiente entre 4 e 6°C. O volume de líquido ingerido foi determinado por meio da diferença na massa da garrafa nas situações pré e pós-exercício prolongado.

4.7.3 Sudorese total

A sudorese total dos voluntários foi calculada a partir dos valores de variação da massa corporal, que foram somados ao volume de líquido ingerido.

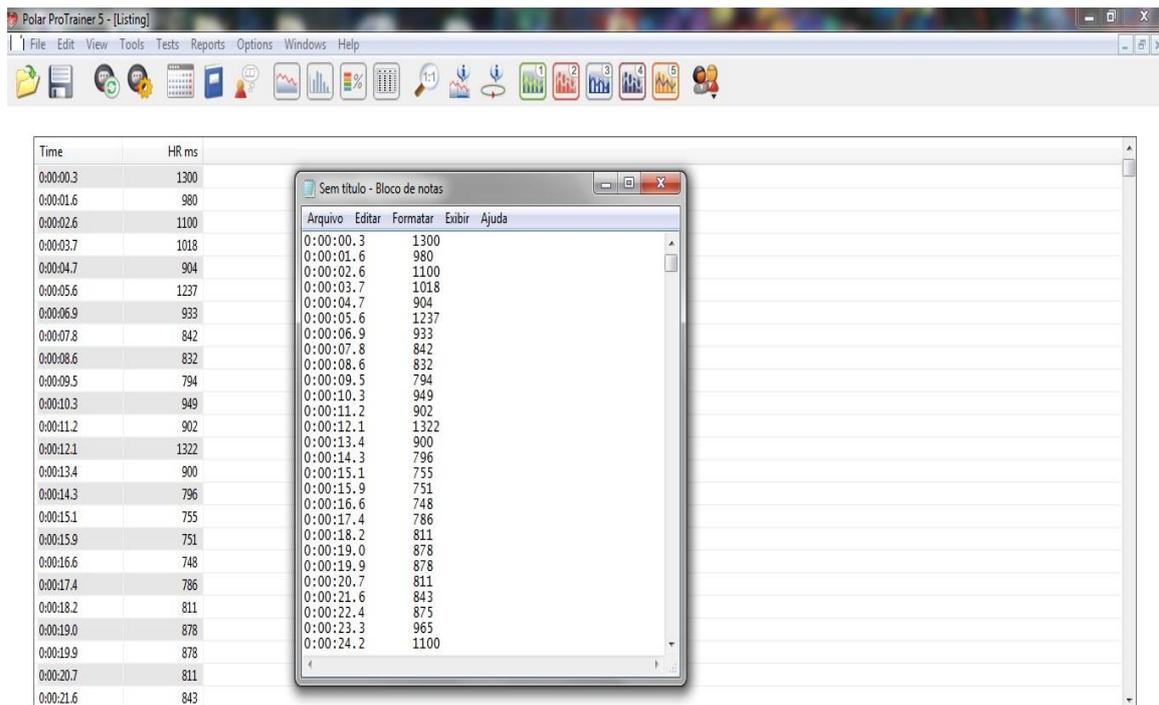
4.7.4 Taxa de sudorese

A taxa de sudorese média dos voluntários foi calculada através da razão entre a sudorese total e a duração dos exercícios prolongados de ciclismo.

4.7.5 Análise da VFC no domínio do tempo e da frequência

A FC foi registrada através do sistema Polar® RS800 CX. A taxa de gravação dos intervalos R-R foi ajustada para 1 s. Dessa forma, os valores dos intervalos entre cada sístole ventricular foram gerados em um arquivo no formato .txt. O programa Polar Pro Trainer 5 foi utilizado para exportação dos dados do intervalo de pulso, conforme demonstrado na Figura 12.

Figura 12: Arquivo em formato “.txt”.

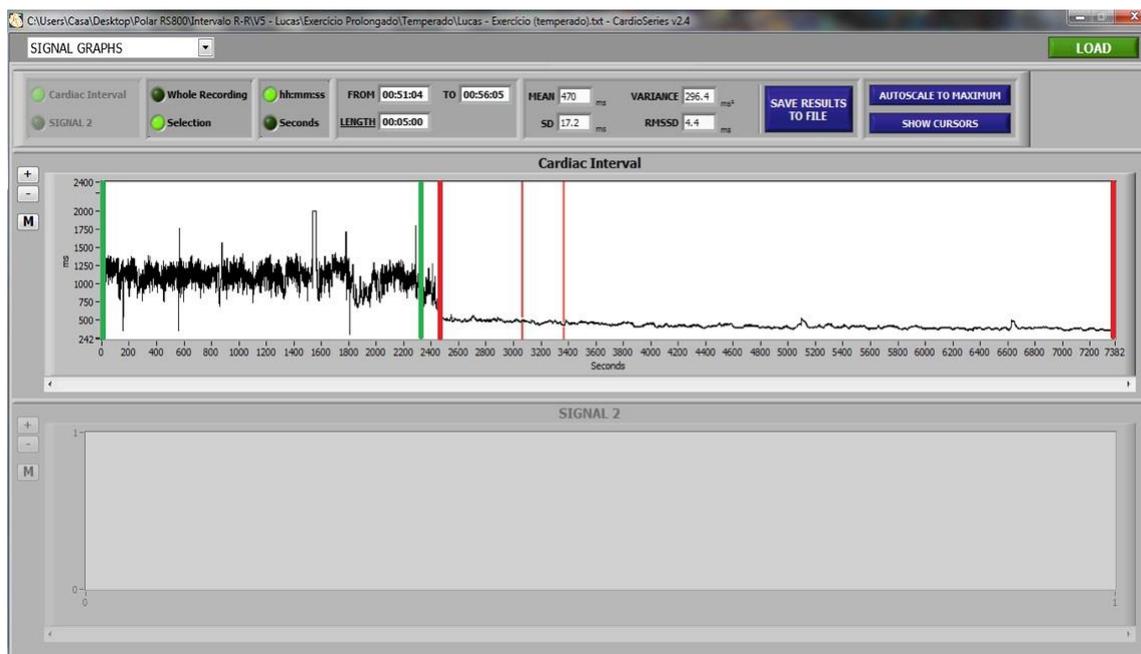


Person	Lucas	Date	20/06/2015	Heart rate average	114 bpm		
Exercise	Lucas	Time	09:21:24	Heart rate max	198 bpm		
Sport	Running	Duration	2:03:02.4				
Note	Lucas - 2ª Situação do protocolo de exercício Ambiente: 26º, 50% URA			Selection	0:00:01 - 2:03:02 (2:03:02.4)		

Arquivo em formato “.txt” gerado a partir do programa Polar Pro Trainer 5, construído com os dados de intervalo de pulso. A coluna da esquerda representa o momento da medida e, a coluna da direita, os intervalos R-R (ms).

Os arquivos com os valores dos intervalos R-R foram importados para o software CardioSeries versão 2.4. Estes arquivos foram utilizados para a análise da VFC através de métodos lineares no domínio do tempo (FIGURA 13) e no domínio da frequência (FIGURA 14).

Figura 13: Programa CardioSeries – domínio do tempo

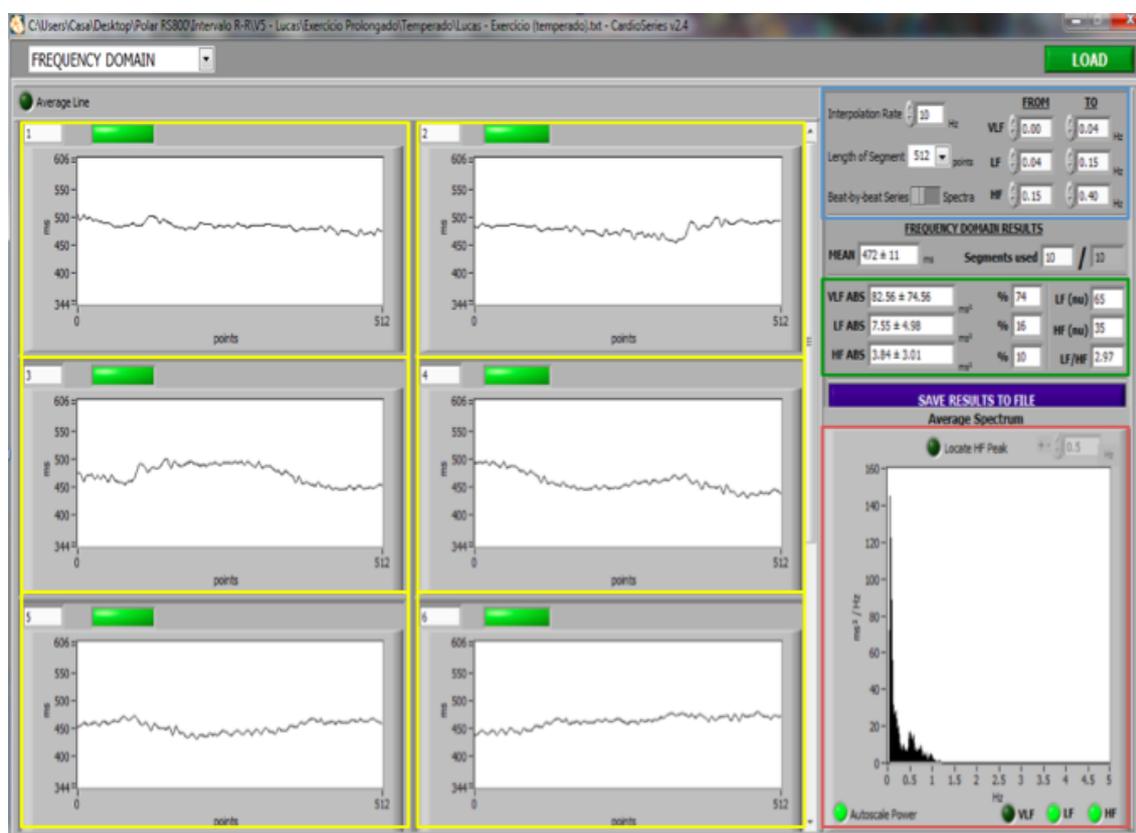


Programa CardioSeries versão 2.4. A figura é referente a um registro realizado em repouso (com duração de 30 min), seguido de um exercício prolongado realizado na temperatura ambiente de 26°C. As barras na cor verde demonstram o período de repouso; as barras em vermelho escuro representam o exercício prolongado e as barras em vermelho claro representam o trecho durante o exercício que foi analisado. O painel inicial mostra os parâmetros da VFC no domínio do tempo, com os valores dos intervalos R-R de cada parâmetro.

A VFC em repouso (momento pré-exercício prolongado – visitas 5 a 7) foi analisada usando-se os últimos 5 minutos do registro contínuo da FC que teve duração total de 30 minutos. Ao longo dos exercícios prolongados, a análise da VFC foi realizada usando-se os últimos 5 minutos do primeiro e do segundo estágio da tarefa. A escolha de realizar esta análise durante as intensidades iniciais do exercício foi para garantir que os voluntários não tivessem atingido o limiar ventilatório, o que causaria um aumento exponencial da ventilação minuto e conseqüentemente a alteração nos componentes espectrais da VFC.

A densidade dos espectros foi obtida por meio da transformação rápida de Fourier e o comprimento dos segmentos foi fixado em 512 pontos com 50% de sobreposição. Os componentes espectrais para as bandas de frequência muito baixa (very low frequency - VLF; $\leq 0,04$ Hz), frequência baixa (low frequency - LF; 0,04 – 0,15 Hz) e frequência elevada (high frequency - HF; 0,15 – 0,40 Hz) foram determinados de acordo com as sugestões da Sociedade Europeia de Cardiologia e da Sociedade Norte-Americana de Pacing e Eletro-fisiologia (TASK FORCE, 1996).

Figura 14: Programa CardioSeries – domínio da frequência



Programa CardioSeries versão 2.4. Nos painéis numerados de 1 a 6 (destacados pelo contorno em amarelo) estão representados os trechos selecionados para a análise da VFC em segmentos de 512 pontos. No painel superior e à direita (em azul), estão representados a taxa de interpolação e o tamanho dos segmentos. Logo abaixo (em verde) estão representadas os valores dos índices de muito baixa frequência (VLF), baixa frequência (LF) e alta frequência (HF). Na parte inferior e à direita, está representando o gráfico da densidade espectral dos segmentos analisados (em vermelho). Os dados são referentes à análise da VFC de um indivíduo durante o exercício prolongado realizado no ambiente temperado (26°C).

5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Inicialmente, foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk para verificar se as variáveis quantitativas registradas apresentavam distribuição normal. As variáveis qualitativas foram tratadas por meio de testes não paramétricos. A análise estatística foi realizada no pacote estatístico SigmaPlot 11.0. Todos os resultados estão apresentados como média \pm desvio padrão (D.P.), com exceção das variáveis qualitativas (escala de PSE, sensação térmica e de conforto térmico) que estão apresentadas como mediana. O nível de significância adotado foi de $P < 0,05$.

Análises de variância (ANOVA) com um fator de variação (temperatura ambiente) e com medidas repetidas foram utilizadas para comparação dos resultados das seguintes variáveis entre as situações experimentais: tempo total de exercício, potência máxima, sudorese total, taxa de sudorese, variação da massa corporal, volume de líquido ingerido e VFC. Para se avaliar os resultados das seguintes variáveis - T_{Retal} , T_{Pele} , FC, PSE, CT, ST e lactato - foram utilizadas ANOVAs com dois fatores de variação (temperatura ambiente e momentos ao longo do exercício) com medidas repetidas para os dois fatores. Em seguida, quando a ANOVA revelou efeitos significativos dos fatores de variação, as comparações múltiplas foram realizadas por meio de um teste *post-hoc* adequado, de acordo com o coeficiente de variação das variáveis analisadas (SAMPAIO, 2007). Nas situações em que as variáveis não apresentaram distribuição normal, estas foram tratadas através da ANOVA On Ranks com medidas repetidas.

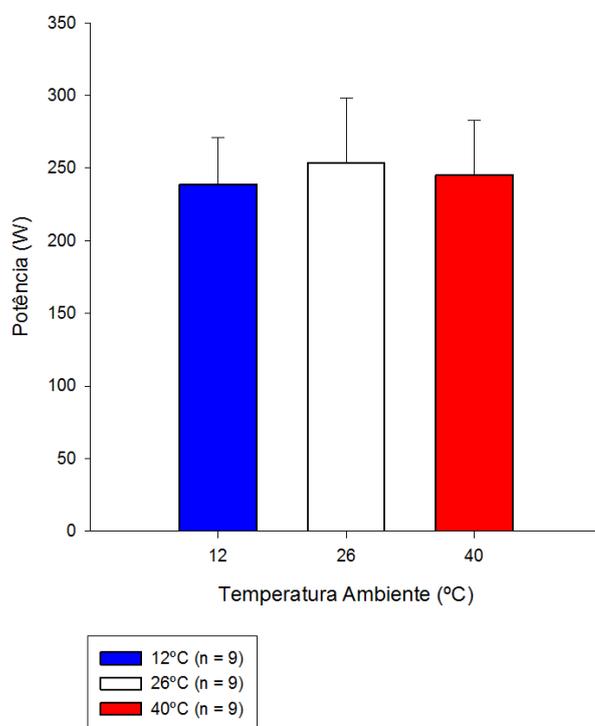
A VFC calculada durante o repouso e durante os estágios iniciais dos exercícios progressivos foi correlacionada com o tempo total de exercício em cada uma das três condições ambientais (visitas 5 a 7). A correlação entre essas variáveis foi verificada por meio do coeficiente de Pearson (r). Nas situações em que os parâmetros da VFC não apresentaram distribuição normal, os dados foram correlacionados por meio de um teste não paramétrico que determina o coeficiente de Spearman (r_s). Além disso, as variações percentuais dos componentes da VFC e do desempenho físico induzidas pelos ambientes quentes ou frio (em relação ao ambiente temperado) foram calculadas. Na sequência, nós correlacionamos essas variações para verificar se a redução do desempenho causada pelo ambiente quente ou o aumento do desempenho causado pelo ambiente frio estão associados com as alterações em componentes da VFC.

6 RESULTADOS

6.1 Potência máxima nos testes de Balke modificados

A $P_{\text{máx}}$ atingida pelos voluntários nos testes de Balke modificados não foi diferente entre as três temperaturas ambientais ($12^{\circ}\text{C} - 238,7 \pm 32,4 \text{ W}$; $26^{\circ}\text{C} - 253,7 \pm 44,3 \text{ W}$; $40^{\circ}\text{C} - 245,4 \pm 37,5 \text{ W}$; $P = 0,091$; Figura 15).

Figura 15: Potência máxima atingida pelos voluntários durante os testes de Balke modificados realizados nas três diferentes condições ambientais.

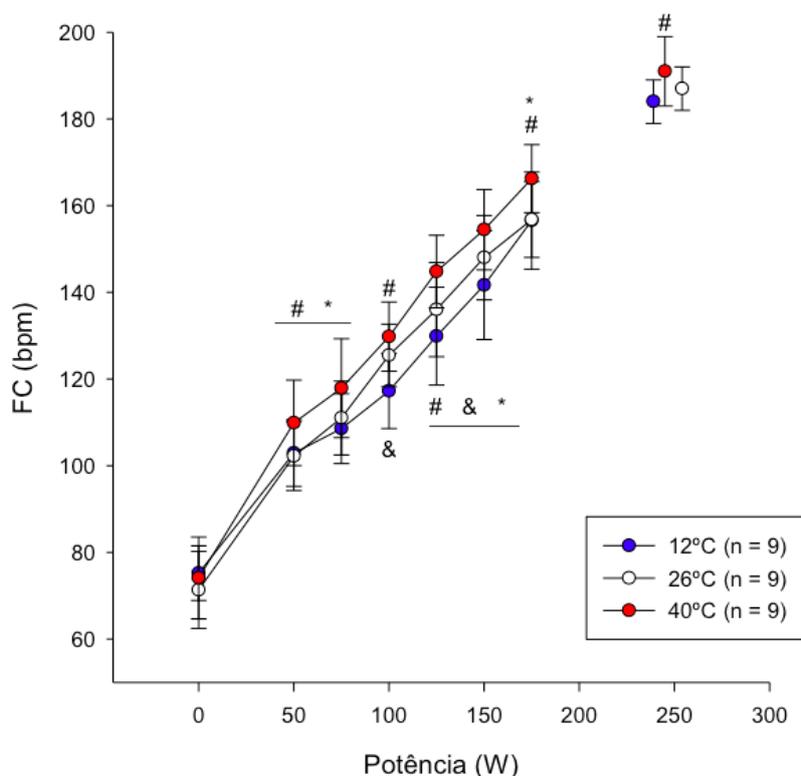


Os valores estão expressos como média \pm desvio padrão.

6.2 Frequência cardíaca durante os testes de Balke modificados

A FC dos voluntários no momento pré-teste não foi diferente entre as condições ambientais e sempre aumentou de forma clara ao longo desses testes (FIGURA 16). Ao se comparar a FC entre as três temperaturas ambientes durante os testes, a FC dos voluntários foi maior na situação de 40°C em comparação às situações de 26°C e 12°C nos dois primeiros estágios do exercício (50 W e 75 W) e no estágio de 175 W. Além disso, no estágio de 100 W, a FC foi maior a 40°C em relação a 12°C e foi menor em 12°C em relação a 26°C. Já nos estágios de 125 W e 150 W, a FC foi diferente entre cada uma das situações ambientais. Por fim, no momento em que a $P_{\text{máx}}$ foi atingida durante os testes, a FC foi apenas maior no ambiente quente em relação ao ambiente frio (12°C – 184 ± 5 bpm; 26°C – 187 ± 5 bpm; 40°C – 191 ± 8 bpm; $P = 0,02$). Neste momento, não houve diferenças entre as situações de 40°C e 26°C e nem entre as situações de 12°C e 26°C.

Figura 16: Frequência cardíaca dos voluntários durante os testes de Balke modificados realizados nas três condições ambientais.

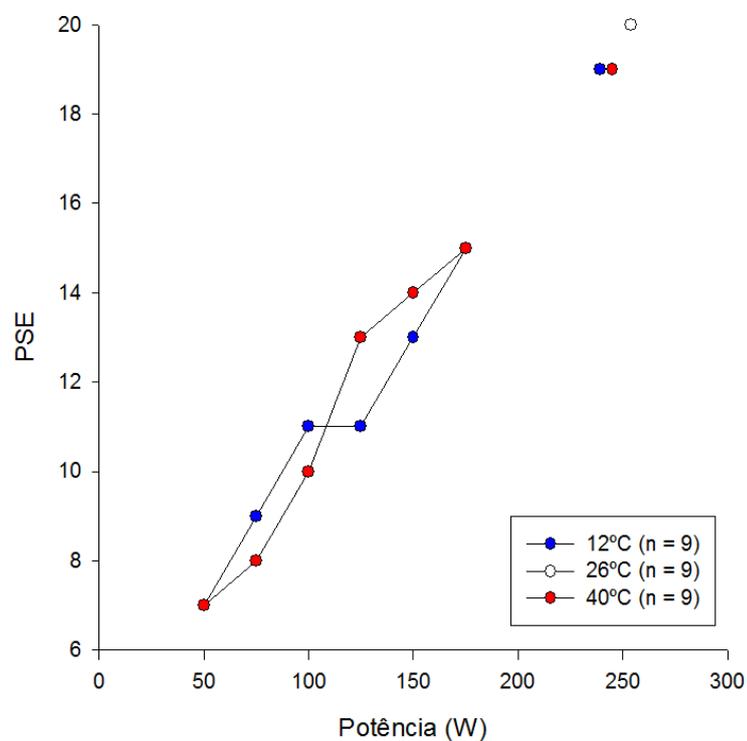


Os valores estão expressos como média \pm desvio padrão. Legenda: & diferença significativa ($P < 0,05$) da situação 12°C em relação a 26°C; * diferença significativa ($P < 0,05$) da situação entre 40°C em relação a 26°C; # diferença significativa ($P < 0,05$) da situação 40°C em relação a 12°C.

6.3 Percepção subjetiva do esforço durante os testes de Balke modificados

A PSE dos voluntários aumentou ao longo dos estágios dos testes de Balke e não foram observadas diferenças entre as três condições ambientais (FIGURA 17). É importante notar que esta variável apresentou a mesma resposta ao longo dos incrementos da potência nas temperaturas ambientais de 12°C e 26°C, e, por isso, não é possível visualizar no gráfico os símbolos referentes ao ambiente temperado.

Figura 17: Percepção subjetiva do esforço dos voluntários durante os testes de Balke modificados nas três condições ambientais.

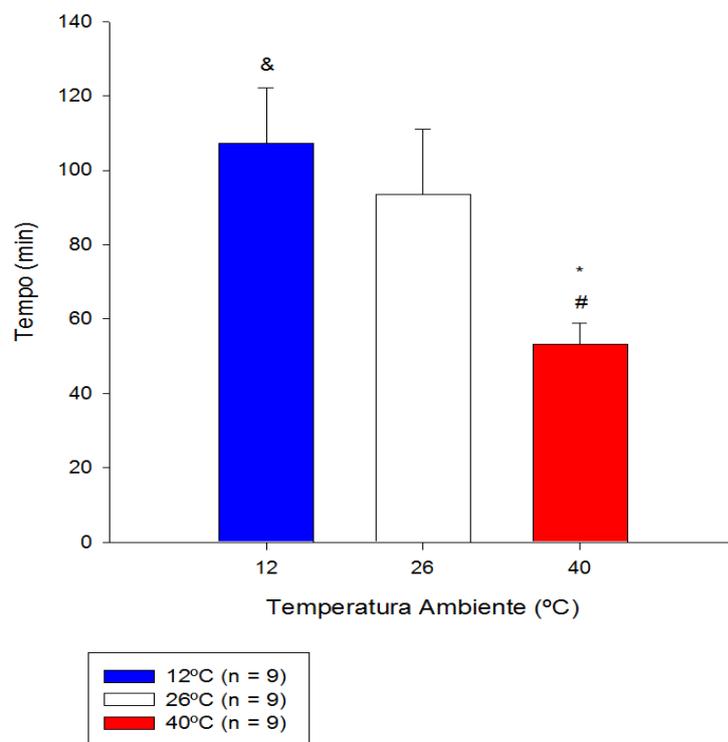


Os dados estão expressos como mediana.

6.4 Tempo de ciclismo até a fadiga durante os exercícios prolongados

O tempo de ciclismo até a fadiga dos voluntários durante os exercícios prolongados foi diferente entre todas as situações experimentais, sendo menor na situação 40°C em relação a 26°C e 12°C e sendo maior na situação 12°C em relação a 26°C (12°C – 107,1 ± 14,9 min; 26°C – 93,4 ± 17,6 min; TA40 – 53,1 ± 5,9 min; P = 0,001; FIGURA 18).

Figura 18: Tempo de ciclismo até a fadiga dos voluntários durante o exercício prolongado realizado nas três condições ambientais.

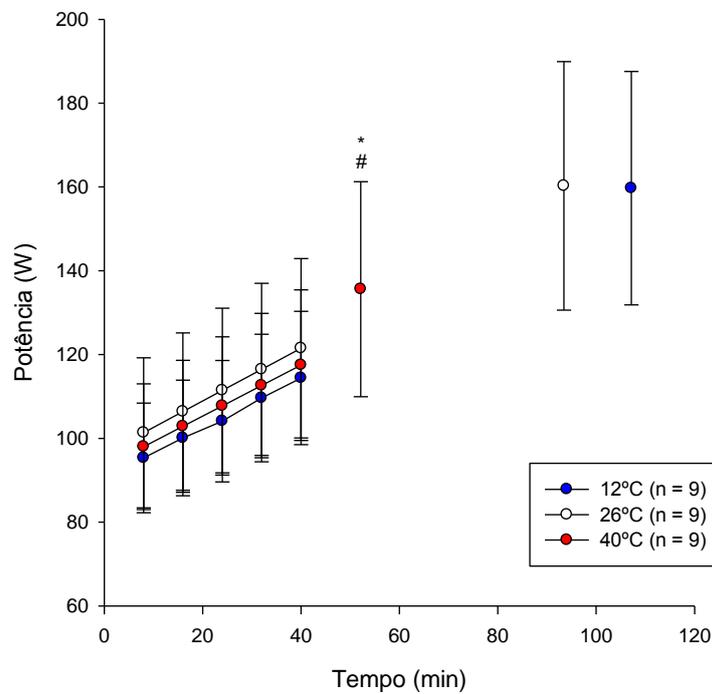


Legenda: & diferença significativa (P < 0,05) da situação 12°C em relação a 26°C; * diferença significativa (P < 0,05) da situação entre 40°C em relação a 26°C; # diferença significativa (P < 0,05) da situação 40°C em relação a 12°C.

6.5 Potência média durante os exercícios prolongados

A potência média realizada pelos voluntários ao longo do exercício não foi diferente entre as três condições ambientais, exceto no momento da interrupção do exercício progressivo, quando a $P_{\text{máx}}$ foi menor na situação de 40°C em comparação às situações de 26°C e 12°C ($P = 0,001$; FIGURA 19).

Figura 19: Potência média realizada pelos voluntários durante os exercícios prolongados nas três condições ambientais.



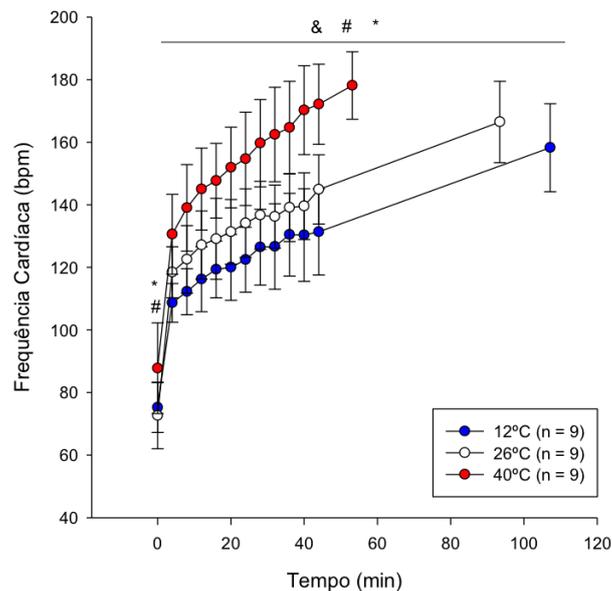
Legenda: * diferença significativa ($P < 0,05$) da situação entre 40°C em relação a 26°C; # diferença significativa ($P < 0,05$) da situação 40°C em relação a 12°C.

6.6 Frequência cardíaca durante os exercícios prolongados

A exposição de 30 minutos à temperatura ambiente de 40°C induziu aumento da FC pré-exercício em relação aos ambientes temperado e quente (Figura 20). Além disso, o mesmo tempo de exposição à temperatura de 12°C não modificou a FC pré-exercício em relação à temperatura de 26°C.

Durante o exercício físico, a FC aumentou gradualmente e de forma marcante ao longo das três situações experimentais. A FC no ambiente quente foi maior em relação aos ambientes frio e temperado do início ao final do exercício. Em adição, foram verificados menores valores de FC a 12°C em comparação a 26°C a partir do 4º minuto de exercício.

Figura 20: Frequência cardíaca dos voluntários durante os exercícios prolongados nas três condições ambientais.



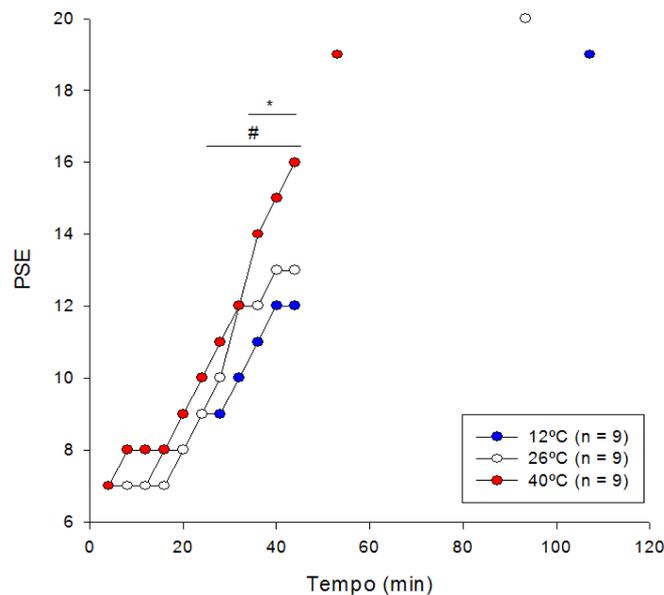
Legenda: & diferença significativa ($P < 0,05$) da situação 12°C em relação 26°C; * diferença significativa ($P < 0,05$) da situação entre 40°C em relação a 26°C; # diferença significativa ($P < 0,05$) da situação 40°C em relação a 12°C.

6.7 Percepção subjetiva do esforço dos voluntários nos exercícios prolongados

A PSE dos voluntários aumentou durante os exercícios prolongados independentemente da temperatura ambiente (Figura 21). No momento da interrupção do exercício, não foram observadas diferenças significativas na PSE dos voluntários entre as três condições ambientais.

A PSE foi maior no ambiente quente em relação ao ambiente temperado a partir do 36° minuto até o 44° minuto do exercício. Ao se comparar os ambientes extremos, a PSE aumentou significativamente no ambiente quente em relação ao temperado desde o 24° minuto até 44° minuto do exercício. Não foram encontradas diferenças significativas na PSE dos voluntários ao longo dos exercícios prolongados nas temperaturas ambientes de 12°C e 26°C.

Figura 21: Percepção subjetiva do esforço dos voluntários durante os exercícios prolongados realizado nas três condições ambientais.

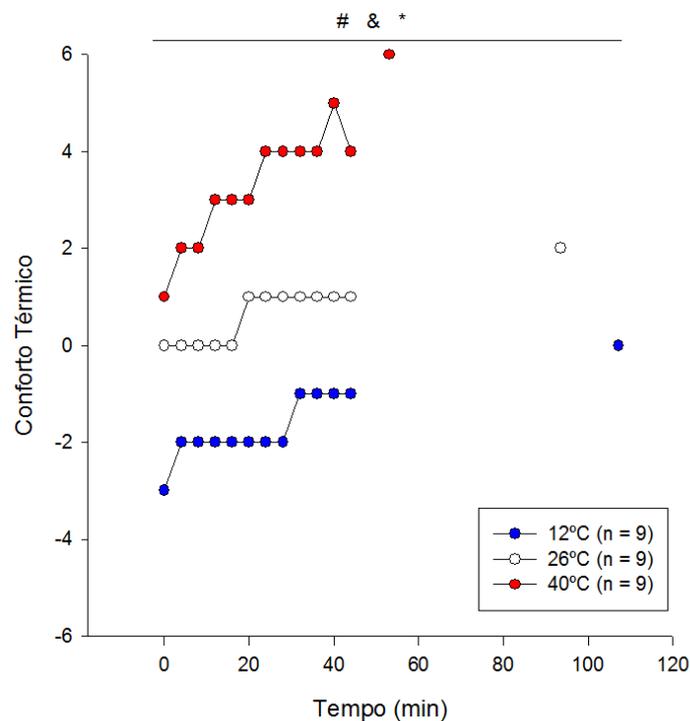


Legenda: * diferença significativa ($P < 0,05$) da situação entre 40°C em relação a 26°C; # diferença significativa ($P < 0,05$) da situação 40°C em relação a 12°C.

6.8 Conforto térmico dos voluntários nos exercícios prolongados

O CT dos voluntários foi aumentado durante os exercícios prolongados, sendo que diferenças significativas foram verificadas entre as três condições ambientais desde o momento pré-exercício até o término do esforço físico ($P = 0,001$; FIGURA 22). Sendo assim, o CT dos voluntários apresentou maiores valores em todos os momentos do exercício realizado a 40°C em relação aos exercícios realizados a 26°C e 12°C . Além disso, o CT foi menor a 12°C em relação a 26°C em todos os momentos do exercício. É interessante notar que a mediana do CT no momento da fadiga voluntária no ambiente frio correspondeu a 0, o que indica que os voluntários estavam se sentindo termicamente confortáveis.

Figura 22: Conforto térmico dos voluntários durante os exercícios prolongados nas três temperaturas ambientais.



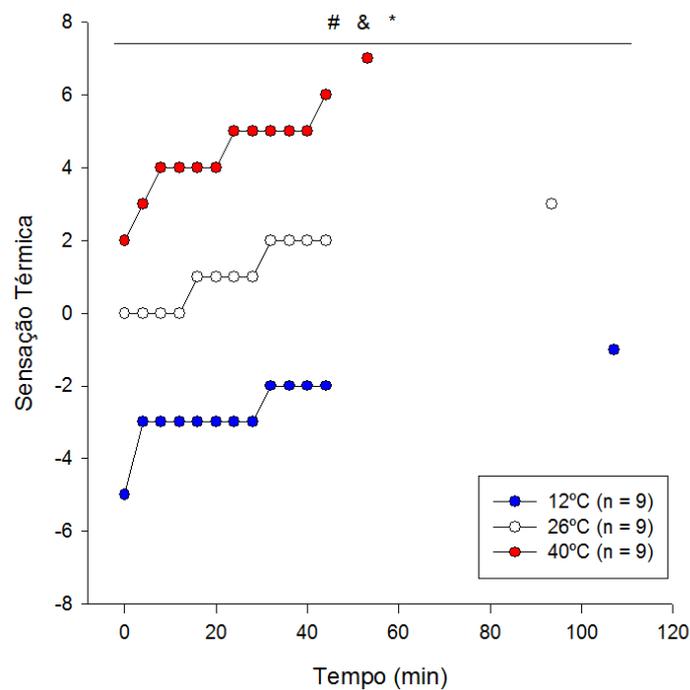
Legenda: & diferença significativa ($P < 0,05$) da situação 12°C em relação 26°C ; * diferença significativa ($P < 0,05$) da situação entre 40°C em relação a 26°C ; # diferença significativa ($P < 0,05$) da situação 40°C em relação a 12°C .

6.9 Sensação térmica dos voluntários nos exercícios prolongados

A ST dos voluntários também foi aumentando gradualmente durante os exercícios prolongados, sendo que diferenças entre as três condições ambientais foram observadas desde o momento pré-exercício até o término do mesmo ($P = 0,001$; Figura 23).

A ST apresentou maiores valores em todos os momentos do exercício realizado a 40°C em relação aos exercícios realizados a 26°C e 12°C . Na temperatura ambiente de 12°C , a ST foi mantida mais estável durante vários estágios do exercício prolongado (do 4° ao 28° minuto de exercício) e foi sempre menor do que a ST a 26°C . Uma observação interessante é que a mediana da ST no momento da fadiga voluntária estava negativa a 12°C , sugerindo que os voluntários ainda estavam sentindo frio.

Figura 23: Sensação térmica dos voluntários durante os exercícios prolongados nas três condições ambientais.



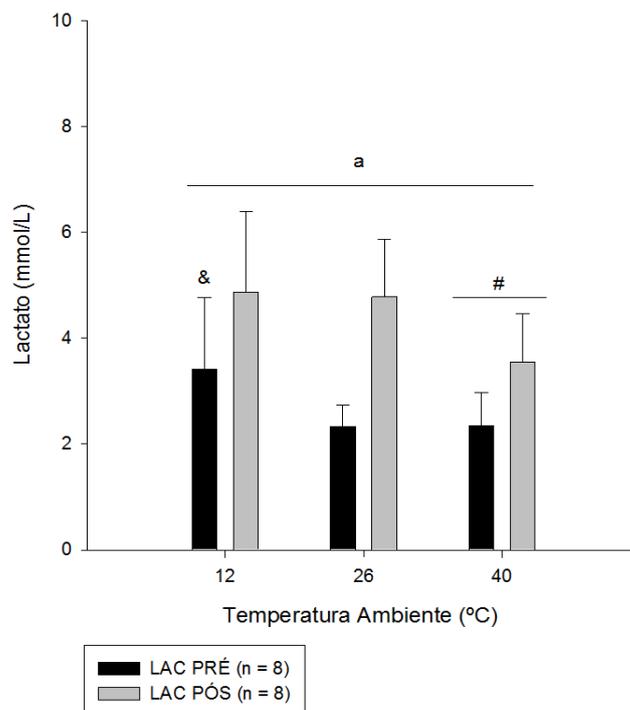
Legenda: & diferença significativa ($P < 0,05$) da situação 12°C em relação 26°C ; * diferença significativa ($P < 0,05$) da situação entre 40°C em relação a 26°C ; # diferença significativa ($P < 0,05$) da situação 40°C em relação a 12°C .

6.10 Lactato

Os valores do lactato em repouso (LAC PRÉ) e ao final do exercício (LAC PÓS) foram diferentes dentro de cada uma das três condições ambientais. De maneira esperado, o LAC PRÉ foi sempre menor quando comparado ao LAC PÓS independentemente da temperatura ambiente (Figura 24).

Na temperatura ambiente de 12°C, o LAC PRÉ foi maior em relação às temperaturas de 26°C e 40°C ($P = 0,03$; LAC12 PRÉ – $3,41 \pm 0,25$ mmol/L; LAC26 PRÉ – $2,32 \pm 0,25$ mmol/L; LAC40 PRÉ – $2,34 \pm 0,25$ mmol/L) e o LAC PÓS foi maior em relação à temperatura de 40°C ($P = 0,04$). Entretanto, não foram observadas diferenças significativas do LAC PÓS no ambiente frio em relação ao ambiente temperado. E, por fim, não foram observadas diferenças significativas no ambiente quente em relação ao ambiente temperado em nenhum dos momentos de avaliação do lactato (LAC12 PÓS – $4,86 \pm 0,25$ mmol/L; LAC26 PÓS – $4,63 \pm 0,30$ mmol/L; LAC40 PÓS – $3,57 \pm 0,36$ mmol/L).

Figura 24: Concentração sanguínea de lactato dos voluntários medida nos momentos pré e pós-exercício nas três condições ambientais.

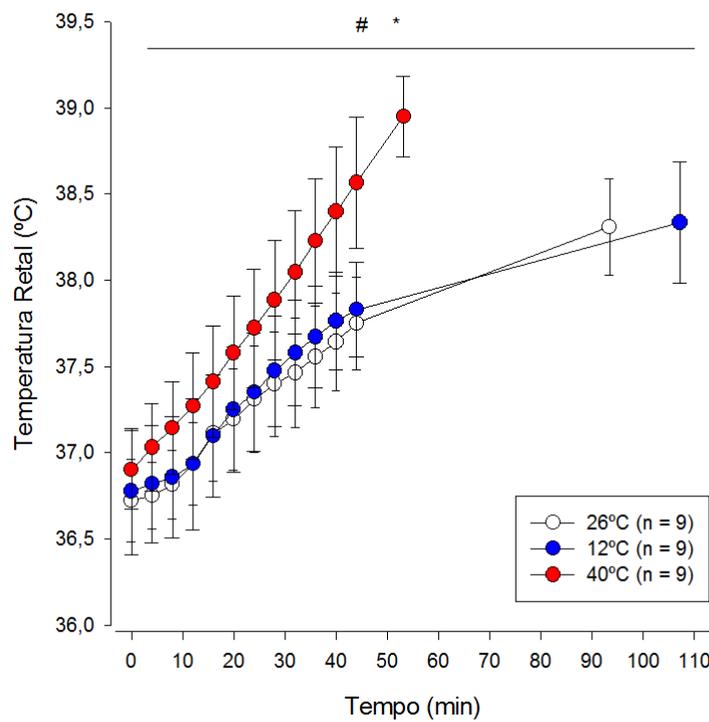


Legenda: a – diferença significativa ($P < 0,05$) dentro de cada temperatura ambiente; & diferença significativa ($P < 0,05$) da situação 12°C em relação 26°C; # diferença significativa ($P < 0,05$) da situação 40°C em relação a 12°C.

6.11 Temperatura corporal interna

Não foram observadas diferenças significativas na T_{RETAL} , índice da temperatura interna, entre as situações experimentais em repouso (pré-exercício; Figura 25). A T_{RETAL} aumentou durante os exercícios prolongados independentemente da temperatura ambiente. As condições 12°C e 26°C demonstraram uma resposta semelhante no aumento da T_{RETAL} induzido pelo exercício. Já no ambiente quente, a cinética de aumento desta variável foi acentuada em relação as demais condições ambientais. Dessa forma, a T_{RETAL} registrada no ambiente quente foi maior em relação aos ambientes frio e temperado a partir do 4º minuto até o término do exercício prolongado ($P = 0,001$).

Figura 25: Temperatura interna dos voluntários durante os exercícios prolongados realizado nas três condições ambientais.

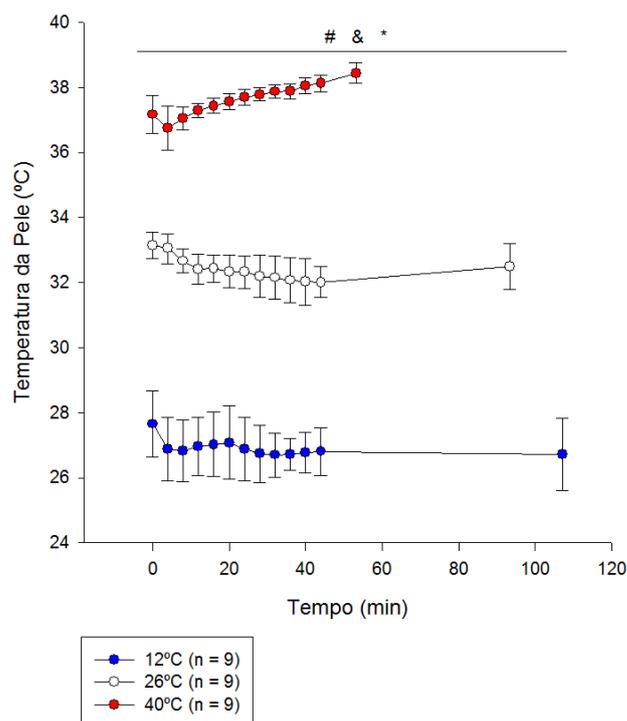


Legenda: * diferença significativa ($P < 0,05$) da situação entre 40°C em relação a 26°C; # diferença significativa ($P < 0,05$) da situação 40°C em relação a 12°C.

6.12 Temperatura média da pele

A temperatura média da pele foi diferente entre todas as situações experimentais, em todos os momentos do exercício, de forma que esta variável foi maior no ambiente quente em relação ao frio e ao temperado, e menor no ambiente frio em relação ao ambiente temperado ($P = 0,001$; FIGURA 26). Além disso, a cinética da temperatura média da pele foi dependente da situação experimental. Nas condições 12°C e 26°C, a temperatura apresentou pequena redução na transição entre o repouso e o exercício e então se manteve estável até o momento da fadiga voluntária. Na temperatura ambiente de 40°C, a temperatura média da pele aumentou durante o exercício.

Figura 26: Temperatura média da pele durante os exercícios prolongados realizados nas três condições ambientais.



Legenda: & diferença significativa ($P < 0,05$) da situação 12°C em relação 26°C; * diferença significativa ($P < 0,05$) da situação entre 40°C em relação a 26°C; # diferença significativa ($P < 0,05$) da situação 40°C em relação a 12°C.

6.13 Variação da massa corporal, sudorese total, gravidade específica da urina e volume de líquido ingerido durante os exercícios prolongados.

A variação da massa corporal dos voluntários foi menor no ambiente quente em comparação com a variação nos ambientes frio e temperado ($P = 0,035$; Tabela 2); não foram observadas diferenças entre os ambientes frio e temperado. Já a sudorese total e a gravidade específica da urina (GEU) não foram influenciadas pelas condições ambientais. Além disso, os valores de GEU demonstraram que os voluntários iniciaram e finalizaram o exercício em um estado de eu-hidratação. O volume de líquido ingerido foi diferente entre cada uma das três situações experimentais ($P = 0,002$), sendo maior a 40°C em relação a 26°C e 12°C e sendo menor a 12°C em relação a 26°C .

Tabela 2 – Variação da massa corporal, sudorese total, gravidade específica da urina e volume de líquido ingerido durante os exercícios prolongados nas três condições ambientais.

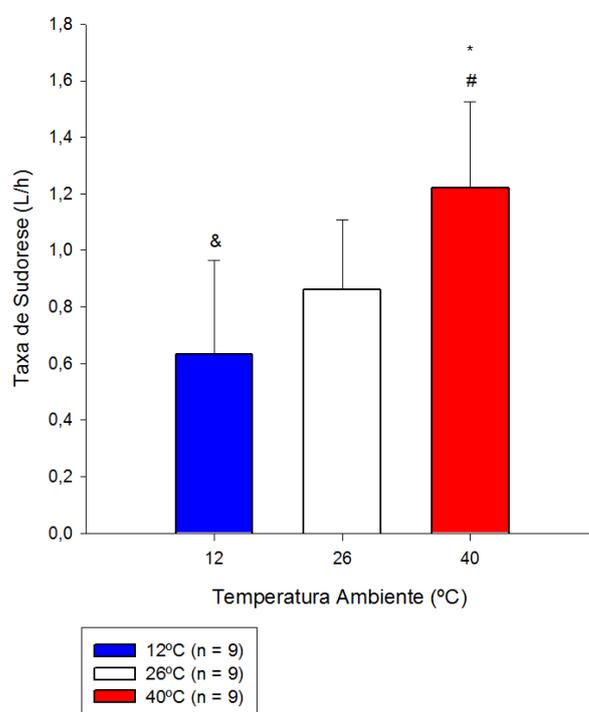
	12°C	26°C	40°C
Varição da MC (kg)	0,92 ± 0,62	0,94 ± 0,55	0,51 ± 0,47 # *
Sudorese Total (L)	1,17 ± 0,68	1,36 ± 0,53	1,09 ± 0,32
GEU PRÉ	1014 ± 9,43	1016 ± 8,11	1016 ± 6,36
GEU PÓS	1013 ± 4,26	1011 ± 4,26	1016 ± 6,88
Volume ingerido (L)	0,26 ± 0,36 &	0,42 ± 0,27	0,58 ± 0,40 # *

Os dados estão expressos como média ± desvio padrão. Legenda: GEU: gravidade específica da urina; & diferença significativa ($P < 0,05$) da situação 12°C em relação 26°C ; * diferença significativa ($P < 0,05$) da situação entre 40°C em relação a 26°C ; # diferença significativa ($P < 0,05$) da situação 40°C em relação a 12°C .

6.14 Taxa de Sudorese durante os exercícios prolongados

A taxa de sudorese foi diferente entre todas as situações experimentais ($P = 0,001$; Figura 27). Dessa forma, a variável taxa de sudorese foi menor no ambiente frio em relação ao ambiente temperado e maior no ambiente quente em comparação às demais situações experimentais.

Figura 27: Taxa de sudorese dos voluntários durante os exercícios prolongados realizados nas três condições ambientais.



Legenda: & diferença significativa ($P < 0,05$) da situação 12°C em relação 26°C; * diferença significativa ($P < 0,05$) da situação entre 40°C em relação a 26°C; # diferença significativa ($P < 0,05$) da situação 40°C em relação a 12°C.

6.15 Comparação dos parâmetros da VFC em repouso entre as três diferentes condições ambientais

O parâmetro média analisado durante o repouso que precedeu o exercício foi menor na temperatura ambiente de 40°C em relação à temperatura ambiente de 26°C e também foi menor a 12°C em relação à 26°C (Tabela 3). Dessa forma, o intervalo de pulso foi menor nos ambientes quente e frio em relação ao ambiente temperado. Além disso, os parâmetros variância e desvio apresentaram valores inferiores no ambiente quente em relação às temperaturas ambientes de 26°C e 12°C. Já a razão LF/HF foi maior na temperatura ambiente de 40°C em comparação a 26°C e os parâmetros LF(nu) e HF(nu) foram, respectivamente, maior e menor no ambiente quente em relação ao ambiente temperado.

Tabela 3 – Parâmetros da VFC de repouso entre as diferentes condições ambientais.

Domínio do tempo	12°C	26°C	40°C
Média (ms)	962,0 ± 97,7 &	1089,4 ± 71,8	941,1 ± 110,5 *
Desvio (ms)	127,2 ± 25,9	122,6 ± 55,0	98,3 ± 56,8 * #
Variância (ms)	16798,1 ± 6885,6	17723,5 ± 15654,6	12545,9 ± 14928,9 * #
RMSSD (ms)	92,8 ± 32,2	102,3 ± 38,9	84,6 ± 77,2
Domínio da frequência			
VLF (ms ²)	3160,0 ± 1777,2	1160,8 ± 560,8	2888,5 ± 5094,3
LF (ms ²)	2629,3 ± 2136,2	2746,6 ± 2114,5	3227,6 ± 3300,5
HF (ms ²)	3176,3 ± 2560,4	3672,7 ± 2776,2	4110,9 ± 7825,6
LF/HF	1,3 ± 0,7	1,0 ± 1,0	1,8 ± 0,9 *
LF (nu)	47,5 ± 15,8	38,1 ± 17,1	54,6 ± 16,0 * #
HF (nu)	52,4 ± 15,8	61,8 ± 17,1	45,3 ± 16,0 * #

Legenda: & diferença significativa ($P < 0,05$) da situação 12°C em relação 26°C; * diferença significativa ($P < 0,05$) da situação entre 40°C em relação a 26°C; # diferença significativa ($P < 0,05$) da situação 40°C em relação a 12°C. RMSSD – Raiz quadrada da média das diferenças sucessivas ao quadrado, entre os intervalos R-R adjacentes; VLF – Componente espectral de muito baixa frequência; LF – Componente espectral de baixa frequência; HF – Componente espectral de alta frequência; LF/HF – Razão entre os componentes espectrais LF e HF; LF (nu) – Componente espectral de baixa frequência expresso através de unidades normalizadas; HF (nu) – Componente espectral de alta frequência expresso através de unidades normalizadas.

6.16 Parâmetros da VFC durante o 1º estágio dos exercícios prolongados em diferentes ambientes

Durante o primeiro estágio de exercício, a VFC apresentada pelos voluntários foi significativamente diferente entre a temperatura de 40°C e as temperaturas de 12°C e 26°C em relação aos seguintes parâmetros: intervalo de pulso (média) e RMSSD no domínio do tempo; VLF, LF e HF no domínio da frequência (TABELA 4). Dessa forma, tanto os parâmetros no domínio do tempo quanto os parâmetros no domínio da frequência foram menores no ambiente quente em relação às demais condições ambientais. Além disso, na temperatura de 12°C foram verificadas diferenças significativas em relação à temperatura ambiente de 26°C, referente aos seguintes parâmetros: intervalo de pulso (média) e RMSSD no domínio do tempo; e o componente VLF no domínio da frequência. Todos os três parâmetros citados anteriormente foram maiores no ambiente frio em comparação com os parâmetros medidos no ambiente temperado.

Tabela 4 – Parâmetros da VFC durante o 1º estágio dos exercícios prolongados em diferentes condições ambientais.

Domínio do tempo	12°C	26°C	40°C
Média (ms)	549,2 ± 30,0 &	505,0 ± 40,1	450,6 ± 44,7 * #
Desvio (ms)	20,1 ± 3,5	16,2 ± 5,0	15,8 ± 5,0
Variância (ms)	416,4 ± 146,7	286,6 ± 175,9	272,4 ± 165,3
RMSSD (ms)	10,6 ± 5,5 &	8,4 ± 5,1	4,4 ± 1,0 * #
Domínio da frequência			
VLF (ms ²)	72,2 ± 33,4 &	60,2 ± 42,0	32,8 ± 23,1 * #
LF (ms ²)	110,7 ± 49,0	61,4 ± 94,4	18,6 ± 17,2 * #
HF (ms ²)	41,6 ± 27,1	12,3 ± 10,3	3,3 ± 2,5 * #
LF/HF	3,9 ± 1,4	6,3 ± 4,2	6,5 ± 2,7
LF (nu)	71,7 ± 7,2	73,4 ± 12,5	74,6 ± 8,9
HF (nu)	28,2 ± 7,2	26,5 ± 12,5	25,3 ± 8,9

Legenda: & diferença significativa (P < 0,05) da situação 12°C em relação 26°C; * diferença significativa (P < 0,05) da situação 40°C em relação a 26°C; # diferença significativa (P < 0,05) da situação 40°C em relação a 12°C. RMSSD – Raiz quadrada da média das diferenças sucessivas ao quadrado, entre os intervalos R-R adjacentes; VLF – Componente espectral de muito baixa frequência; LF – Componente espectral de baixa frequência; HF – Componente espectral de alta frequência; LF/HF – Razão entre os componentes espectrais LF e HF; LF (nu) – Componente espectral de baixa frequência expresso através de unidades normalizadas; HF (nu) – Componente espectral de alta frequência expresso através de unidades normalizadas.

6.17 Parâmetros da VFC durante o 2º estágio dos exercícios prolongados em diferentes ambientes

Durante o segundo estágio do exercício, o intervalo de pulso e o RMSSD apresentaram valores inferiores no ambiente quente em comparação aos valores nos ambientes frio e temperado (TABELA 5). Os índices desvio padrão e variância também foram menores no ambiente quente em relação ao ambiente frio. Além disso, no domínio da frequência, os componentes VLF, LF e HF foram reduzidos na condição 40°C em relação às condições de 26°C e 12°C. E, por fim, tanto alguns parâmetros no domínio do tempo (média e RMSSD) quanto alguns parâmetros no domínio da frequência (LF e HF) foram maiores no ambiente frio em comparação ao ambiente temperado.

Tabela 5 – Parâmetros da VFC durante o 2º estágio dos exercícios prolongados nas diferentes condições ambientais.

Domínio do tempo	12°C	26°C	40°C
Média (ms)	517,5 ± 41,4 &	471,8 ± 43,7	417,4 ± 41,7 * #
Desvio (ms)	16,0 ± 4,3	13,7 ± 3,8	12,0 ± 5,0 #
Variância (ms)	274,5 ± 150,2	203,6 ± 108,9	166,4 ± 128,5 #
RMSSD (ms)	7,6 ± 4,6 &	6,0 ± 2,1	4,0 ± 1,6 * #
Domínio da frequência			
VLF (ms ²)	45,3 ± 17,1	45,5 ± 18,5	22,2 ± 15,3 * #
LF (ms ²)	51,7 ± 43,2 &	33,4 ± 61,6	8,4 ± 8,5 * #
HF (ms ²)	14,2 ± 13,6 &	7,7 ± 10,9	2,1 ± 3,6 * #
LF/HF	6,1 ± 3,1	5,6 ± 3,1	7,6 ± 3,3
LF (nu)	76,8 ± 7,5	74,8 ± 12,2	77,4 ± 10,6
HF (nu)	23,1 ± 7,5	25,1 ± 12,2	22,5 ± 10,6

Legenda: & diferença significativa ($P < 0,05$) da situação 12°C em relação 26°C; * diferença significativa ($P < 0,05$) da situação entre 40°C em relação a 26°C; # diferença significativa ($P < 0,05$) da situação 40°C em relação a 12°C. RMSSD – Raiz quadrada da média das diferenças sucessivas ao quadrado, entre os intervalos R-R adjacentes; VLF – Componente espectral de muito baixa frequência; LF – Componente espectral de baixa frequência; HF – Componente espectral de alta frequência; LF/HF – Razão entre os componentes espectrais LF e HF; LF (nu) – Componente espectral de baixa frequência expresso através de unidades normalizadas; HF (nu) – Componente espectral de alta frequência expresso através de unidades normalizadas.

6.18 Correlação entre a VFC de repouso e o tempo total de ciclismo até a fadiga durante os exercícios prolongados

Na temperatura ambiente de 26°C, não foram observadas correlações significativas entre a VFC de repouso, tanto nos parâmetros do domínio do tempo quanto do domínio da frequência, e o tempo total de ciclismo até a fadiga realizado pelos voluntários (TABELA 6). A mesma resposta foi observada quando o exercício foi realizado em ambiente quente. Em contraste, no ambiente frio (12°C), foi observada uma correlação significativa e positiva entre o parâmetro variância e o desempenho físico dos voluntários ($P = 0,01$).

Tabela 6 – Correlação entre a VFC de repouso e o tempo total de ciclismo até a fadiga durante os exercícios prolongados.

Domínio do tempo	12°C	P	26°C	P	40°C	P
Média (ms)	$r = -0,63$	0,06	$r = -0,27$	0,47	$r = 0,51$	0,15
Desvio (ms)	$r = -0,13$	0,72	$r = 0,33$	0,37	$r = 0,21$	0,58
Variância (ms)	$r = 0,77 *$	0,01	$r = 0,19$	0,61	$r = -0,03$	0,91
RMSSD (ms)	$r = 0,53$	0,14	$r = 0,28$	0,43	$r = -0,13$	0,70
Domínio da frequência						
VLF (ms ²)	$r = 0,23$	0,54	$r = -0,05$	0,89	$r = 0,08$	0,80
LF (ms ²)	$r = -0,11$	0,74	$r = 0,20$	0,60	$r = -0,16$	0,64
HF (ms ²)	$r = -0,21$	0,57	$r = 0,00$	0,98	$r = -0,13$	0,70
LF/HF	$r = 0,38$	0,30	$r = 0,20$	0,55	$r = -0,42$	0,25
LF (nu)	$r = 0,31$	0,40	$r = 0,21$	0,57	$r = -0,37$	0,32
HF (nu)	$r = -0,31$	0,40	$r = -0,21$	0,57	$r = 0,37$	0,32

Legenda: * grau de associação significativo entre as variáveis ($P < 0,05$). RMSSD – Raiz quadrada da média das diferenças sucessivas ao quadrado, entre os intervalos R-R adjacentes; VLF – Componente espectral de muito baixa frequência; LF – Componente espectral de baixa frequência; HF – Componente espectral de alta frequência; LF/HF – Razão entre os componentes espectrais LF e HF; LF (nu) – Componente espectral de baixa frequência expresso através de unidades normalizadas; HF (nu) – Componente espectral de alta frequência expresso através de unidades normalizadas.

6.19 Correlação entre a VFC durante o 1º estágio e o tempo total de exercício

Na temperatura ambiente de 40°C, o intervalo de pulso apresentou uma correlação positiva e significativa com o desempenho físico ($P = 0,04$; Tabela 7). Contudo, os demais parâmetros da VFC no primeiro estágio do exercício não demonstraram associações significativas com o desempenho a 40°C. Nas temperaturas ambientes de 26°C e de 12°C, não foram observadas correlações significativas entre a VFC de repouso e o tempo total de ciclismo até a fadiga.

Tabela 7 – Correlação entre a VFC durante o 1º estágio e o tempo total dos exercícios prolongados.

Domínio do tempo	12°C	P	26°C	P	40°C	P
Média (ms)	$r = 0,28$	0,45	$r = -0,16$	0,66	$r = 0,67 *$	0,04
Desvio (ms)	$r = -0,44$	0,23	$r = -0,09$	0,80	$r = 0,28$	0,45
Variância (ms)	$r = -0,46$	0,21	$r = -0,01$	0,94	$r = 0,25$	0,51
RMSSD (ms)	$r = 0,03$	0,91	$r = 0,20$	0,58	$r = -0,14$	0,71
Domínio da frequência						
VLF (ms ²)	$r = 0,04$	0,90	$r = -0,20$	0,58	$r = 0,39$	0,29
LF (ms ²)	$r = -0,26$	0,49	$r = -0,21$	0,55	$r = 0,63$	0,05
HF (ms ²)	$r = -0,21$	0,58	$r = -0,06$	0,86	$r = 0,50$	0,15
LF/HF	$r = 0,15$	0,68	$r = -0,25$	0,50	$r = 0,49$	0,17
LF (nu)	$r = -0,25$	0,50	$r = 0,25$	0,50	$r = 0,58$	0,09
HF (nu)	$r = 0,25$	0,50	$r = -0,22$	0,55	$r = -0,58$	0,09

Legenda: * grau de associação significativo entre as variáveis ($P < 0,05$). RMSSD – Raiz quadrada da média das diferenças sucessivas ao quadrado, entre os intervalos R-R adjacentes; VLF – Componente espectral de muito baixa frequência; LF – Componente espectral de baixa frequência; HF – Componente espectral de alta frequência; LF/HF – Razão entre os componentes espectrais LF e HF; LF (nu) – Componente espectral de baixa frequência expresso através de unidades normalizadas; HF (nu) – Componente espectral de alta frequência expresso através de unidades normalizadas.

6.20 Correlação entre a VFC durante o 2º estágio e o tempo total de ciclismo até a fadiga durante os exercícios prolongados

Na temperatura ambiente de 26°C, o parâmetro VLF apresentou uma correlação inversa e significativa com o tempo total de exercício ($P = 0,02$; Tabela 8). Não foram observadas correlações significativas entre o desempenho físico a 26°C e os parâmetros da VFC no domínio do tempo ou os demais parâmetros no domínio da frequência. Além disso, na condição ambiental de 40°C, apenas o índice LF calculado durante o segundo estágio do exercício demonstrou uma correlação significativa e positiva com o desempenho físico dos voluntários ($P = 0,001$). Não foram observadas correlações entre a VFC de repouso, tanto nos parâmetros do domínio do tempo quanto do domínio da frequência, e o tempo total de ciclismo até a fadiga realizado pelos voluntários a 12°C.

Tabela 8 – Correlação entre a VFC durante o 2º estágio e o tempo total dos exercícios prolongados.

Domínio do tempo	12°C	P	26°C	P	40°C	P
Média (ms)	$r = 0,12$	0,74	$r = -0,12$	0,74	$r = 0,62$	0,06
Desvio (ms)	$r = -0,25$	0,50	$r = -0,41$	0,27	$r = 0,31$	0,41
Variância (ms)	$r = -0,24$	0,52	$r = -0,37$	0,32	$r = 0,25$	0,51
RMSSD (ms)	$r = -0,05$	0,87	$r = -0,07$	0,84	$r = -0,18$	0,61
Domínio da frequência						
VLF (ms^2)	$r = -0,31$	0,41	$r = -0,74 *$	0,02	$r = 0,32$	0,40
LF (ms^2)	$r = -0,38$	0,28	$r = 0,15$	0,67	$r = 0,83 *$	0,001
HF (ms^2)	$r = 0,20$	0,55	$r = -0,30$	0,40	$r = 0,41$	0,24
LF/HF	$r = -0,61$	0,07	$r = -0,06$	0,86	$r = 0,09$	0,79
LF (nu)	$r = -0,58$	0,09	$r = 0,20$	0,58	$r = 0,05$	0,89
HF (nu)	$r = 0,58$	0,09	$r = -0,20$	0,58	$r = -0,05$	0,89

Legenda: * grau de associação significativa entre as variáveis ($P < 0,05$). RMSSD – Raiz quadrada da média das diferenças sucessivas ao quadrado, entre os intervalos R-R adjacentes; VLF – Componente espectral de muito baixa frequência; LF – Componente espectral de baixa frequência; HF – Componente espectral de alta frequência; LF/HF – Razão entre os componentes espectrais LF e HF; LF (nu) – Componente espectral de baixa frequência expresso através de unidades normalizadas; HF (nu) – Componente espectral de alta frequência expresso através de unidades normalizadas.

6.21 Correlação entre as alterações percentuais nos componentes da VFC em repouso e as alterações percentuais no desempenho físico induzidas pela exposição ao ambiente quente ou frio.

Não foram observadas correlações significativas entre as alterações percentuais nos parâmetros da VFC e as alterações percentuais no desempenho físico induzidas pelas temperaturas ambientes de 12°C ou 40°C em relação à temperatura 26°C. Houve apenas uma tendência de uma correlação negativa entre as alterações percentuais no parâmetro RMSSD e as alterações percentuais no desempenho causadas pelo ambiente quente ($P = 0,06$; TABELA 9).

Tabela 9 – Correlação entre o percentual das alterações na VFC de repouso e o tempo do exercício de ciclismo nas diferentes condições ambientais.

Domínio do tempo	12°C vs 26°C	P	40°C vs 26°C	P
Média (ms)	$r = -0,48$	0,16	$r = 0,02$	0,93
Desvio (ms)	$r = 0,50$	0,15	$r = 0,15$	0,68
Variância (ms)	$r = 0,50$	0,15	$r = 0,21$	0,57
RMSSD (ms)	$r = -0,21$	0,55	$r = -0,67$	0,06
Domínio da frequência				
VLf (ms^2)	$r = 0,08$	0,80	$r = -0,03$	0,91
Lf (ms^2)	$r = 0,16$	0,64	$r = -0,08$	0,80
Hf (ms^2)	$r = -0,50$	0,15	$r = -0,41$	0,24
LF/HF	$r = 0,41$	0,24	$r = 0,43$	0,22
LF (nu)	$r = 0,41$	0,24	$r = 0,52$	0,14
Hf (nu)	$r = -0,53$	0,12	$r = -0,45$	0,21

6.22 Correlação entre as alterações percentuais nos parâmetros da VFC no 1º estágio do exercício prolongado e as alterações percentuais no desempenho físico induzidas pela exposição ao ambiente quente ou frio.

Não foram observadas correlações significativas entre as alterações percentuais nos parâmetros da VFC durante o 1º estágio do exercício e as alterações percentuais no desempenho físico induzidas pelas temperaturas ambientes de 12°C ou 40°C em relação à temperatura 26°C. Contudo, houve uma tendência de correlação positiva entre as alterações no parâmetro variância e as alterações no tempo total de exercício induzidas pela exposição ao ambiente de 40°C e 26°C ($P = 0,05$; TABELA 10).

Tabela 10 – Correlação entre o percentual das alterações na VFC no 1º estágio do exercício prolongado e o tempo do exercício nas diferentes condições ambientais.

Domínio do tempo	12°C vs 26°C	P	40°C vs 26°C	P
Média (ms)	$r = 0,18$	0,61	$r = 0,55$	0,11
Desvio (ms)	$r = 0,46$	0,18	$r = 0,25$	0,50
Variância (ms)	$r = 0,46$	0,18	$r = 0,65$	0,05
RMSSD (ms)	$r = 0,10$	0,77	$r = 0,26$	0,49
Domínio da frequência				
VLF (ms^2)	$r = 0,08$	0,80	$r = 0,33$	0,35
LF (ms^2)	$r = - 0,25$	0,49	$r = 0,43$	0,23
HF (ms^2)	$r = - 0,45$	0,20	$r = 0,30$	0,40
LF/HF	$r = 0,16$	0,64	$r = - 0,00$	0,98
LF (nu)	$r = 0,18$	0,61	$r = 0,10$	0,78
HF (nu)	$r = - 0,25$	0,49	$r = - 0,08$	0,82

6.23 Correlação entre as alterações percentuais nos parâmetros da VFC no 2º estágio do exercício prolongado e as alterações percentuais no desempenho físico induzidas pela exposição ao ambiente quente ou frio.

Não foram verificadas correlações significativas entre as alterações percentuais nos parâmetros da VFC durante o 2º estágio do exercício e as alterações percentuais no desempenho físico induzidas pelas temperaturas ambientes de 12°C ou 40°C em relação à temperatura 26°C (TABELA 11).

Tabela 11 – Correlação entre o percentual das alterações na VFC no 2º estágio do exercício prolongado e o tempo do exercício nas diferentes condições ambientais.

Domínio do tempo	12°C vs 26°C	P	40°C vs 26°C	P
Média (ms)	r = 0,31	0,38	r = 0,42	0,26
Desvio (ms)	r = 0,58	0,08	r = 0,26	0,50
Variância (ms)	r = 0,58	0,08	r = 0,26	0,49
RMSSD (ms)	r = 0,15	0,67	r = 0,08	0,83
Domínio da frequência				
VLF (ms ²)	r = 0,33	0,35	r = 0,01	0,94
LF (ms ²)	r = 0,41	0,24	r = 0,33	0,38
HF (ms ²)	r = 0,20	0,58	r = 0,02	0,95
LF/HF	r = - 0,10	0,77	r = 0,20	0,58
LF (nu)	r = 0,31	0,38	r = 0,45	0,20
HF (nu)	r = - 0,30	0,40	r = - 0,17	0,64

7 DISCUSSÃO

O presente trabalho teve como objetivo testar a hipótese de que a VFC estaria associada com o desempenho físico durante exercícios até a fadiga realizado em diferentes temperaturas ambientais, bem como investigar se a redução do desempenho causado pelo ambiente quente e o aumento do desempenho causado pelo ambiente frio estariam relacionados com as alterações dos parâmetros da VFC em repouso e durante os dois primeiros estágios do exercício.

A VFC em repouso foi menor nos ambientes quente e frio em comparação com o ambiente temperado. Já durante o exercício prolongado, a VFC foi maior no ambiente frio e menor no ambiente quente em relação ao ambiente temperado. A redução do desempenho físico causada pelo ambiente quente foi associada, respectivamente, no primeiro e no segundo estágio do exercício prolongado, com o intervalo de pulso (média) e o índice LF. Contudo, o aumento do desempenho físico causado pelo ambiente frio não foi associado às alterações nos parâmetros da VFC.

A $P_{m\acute{a}x}$ registrada nos três testes de Balke modificados não foi diferente entre as condições ambientais (FIGURA 15). Estes dados sugerem que a exposição aos ambientes frios e quentes não modifica o desempenho físico medido durante um teste breve, com duração aproximada de 18 min. No entanto, os nossos resultados não corroboram os resultados de De Barros *et al.* (2011), que registraram menores valores de $P_{m\acute{a}x}$ ao final dos testes no ambiente quente (40°C) em comparação ao ambiente temperado (22°C). Vale ressaltar que a temperatura ambiente correspondente ao ambiente temperado foi 4°C diferente entre o nosso e o estudo de De Barros *et al.* (2011) e que a $P_{m\acute{a}x}$ alcançada pelos nossos voluntários tendeu a ser menor nos ambientes quente e frio em relação ao ambiente temperado ($P = 0,091$; $\beta = 0,31$).

Embora não fosse objetivo do presente estudo comparar a $P_{m\acute{a}x}$ dos voluntários alcançada nas temperaturas de 12°C, 26°C e 40°C, a realização destes testes foi fundamental para se determinar a $P_{m\acute{a}x}$ em cada ambiente, o que possibilitou a determinação das potências utilizadas durante os exercícios prolongados. Nestes exercícios, a potência inicial correspondeu a 40% da $P_{m\acute{a}x}$ e, a cada 8 minutos, 2% da $P_{m\acute{a}x}$ foram acrescidos até que os voluntários fadigassem. Dessa forma, acreditamos ter minimizado a possibilidade de se subestimar ou superestimar a intensidade do esforço

relativa ao máximo, padronizando de forma mais adequada o esforço dos voluntários durante os esforços físicos prolongados realizados nas diferentes temperaturas ambientais.

A FC registrada antes do início dos testes de Balke adaptados não foi diferente entre as temperaturas ambientais (Figura 16). Em contrapartida, antes dos exercícios prolongados, a FC foi maior no ambiente quente em relação aos ambientes frio e temperado (Figura 20). Essas diferenças na resposta da FC nos momentos que antecederam os exercícios provavelmente se devem ao fato que os voluntários foram expostos por mais tempo às temperaturas ambientais antes dos exercícios prolongados (30 minutos) em relação ao tempo de exposição antes dos testes de Balke adaptados (10 minutos). Dessa forma, durante a exposição ao ambiente quente antes do exercício prolongado houve um maior estresse cardiovascular, uma vez que o sangue foi desviado a partir da circulação visceral (como por exemplo o intestino, o fígado e os rins) para a pele para favorecer a dissipação cutânea de calor. Esta redistribuição do fluxo sanguíneo diminui o volume de sangue na circulação central, reduzindo o retorno venoso e consequentemente o volume de ejeção. Para possibilitar a manutenção do débito cardíaco durante a exposição ao ambiente quente, o organismo aumenta a frequência cardíaca de maneira reflexa (JOHNSON JM, 2010).

O tempo de ciclismo até a fadiga durante os exercícios prolongados foi diferente entre as situações experimentais, de forma que o ambiente quente prejudicou o desempenho físico aeróbio e o ambiente frio favoreceu o mesmo (Figura 18). Além disso, a $P_{máx}$ atingida ao final do exercício foi maior na situação de 40°C em relação às situações de 12°C e 26°C e estas diferenças na $P_{máx}$ refletem as diferenças na duração do exercício. Dessa maneira, o método utilizado neste trabalho foi adequado, uma vez que as alterações na temperatura ambiente provocaram resultados já esperados sobre o desempenho aeróbio dos voluntários, conforme os achados de pesquisas anteriores (GALLOWAY e MAUGHAN, 1997 e GONZÁLEZ-ALONSO *et al.*, 1998).

As concentrações de lactato pré-exercício foram diferentes entre as situações experimentais. Mais especificamente, o $LAC_{PRÉ}$ foi maior na temperatura ambiente de 12°C em relação à 26°C e 40°C (FIGURA 24). Esta maior concentração de lactato após 30 min de repouso a 12°C é explicada pelo fato de que a exposição ao ambiente frio reduz a T_{pele} e pode reduzir a $T_{interna}$. Estas alterações termorregulatórias desencadeiam

uma resposta de termogênese (JETT JR *et al.*, 2006), caracterizada pelo aumento do tônus muscular, o que pode provocar tremor involuntário e então elevar o metabolismo de repouso. Há evidências mostrando que o aumento do metabolismo induzido pelo frio acentua o consumo de gordura em 63% e a utilização de carboidratos em até 588% (VALLERAND e JACOBS, 1989). Como o carboidrato é o principal substrato energético consumido durante a termogênese, assim como a utilização de carboidratos por vias anaeróbicas leva à formação de lactato, o aumento da produção muscular de lactato é observado durante os tremores involuntários. Em adição, o lactato pós-exercício foi maior na temperatura ambiente de 12°C em relação à 40°C. Além do efeito inicial da exposição ao frio, a maior concentração de lactato após o exercício a 12°C em relação a 40°C também pode ser explicada pela duração do exercício prolongado, bem como pelo percentual da $P_{\text{máx}}$ atingida pelos voluntários no momento da fadiga, os quais foram maiores no ambiente temperado em comparação ao ambiente quente. É importante destacar que as concentrações sanguíneas de lactato possuem uma relação direta com a intensidade do exercício (JETT JR, ADAMS e STAMFORD, 2006).

A temperatura retal foi influenciada tanto pelo exercício quanto pelas condições ambientais (Figura 25). A temperatura retal aumentou consideravelmente a partir do 16º minuto de exercício nos ambientes frio e temperado, enquanto que este aumento foi mais rápido no ambiente quente (a temperatura retal aumentou com apenas 8 minutos). Dessa forma, como não houve diferença no percentual da $P_{\text{máx}}$ ao longo dos estágios iniciais do exercício prolongado entre as situações experimentais, o ambiente quente dificultou a dissipação cutânea de calor e induziu aumentos exagerados da temperatura interna, sendo que esta foi maior desde o 4º minuto até o final do exercício em relação as demais situações experimentais. Além disso, a temperatura retal apresentou uma resposta de aumento linear a 40°C (não houve estabilização), indicando que realizar exercícios nessas condições pode ter representado um estresse térmico não compensável, o que explicaria os prejuízos no desempenho físico. Já a temperatura da pele, como esperado, foi diferente entre os três ambientes em todos os momentos do exercício (FIGURA 26).

A T_{interna} é considerada um dos principais fatores que limitam o desempenho físico aeróbio de longa duração no ambiente quente, tanto em atletas (possuem maior tolerância à hipertermia) como em indivíduos não atletas (GONZÁLEZ-ALONSO *et*

al., 1998). Além disso, o tempo até a fadiga é influenciado pelas alterações na temperatura interna prévias ao início do exercício e, em indivíduos não atletas, a T_{interna} atingida na exaustão varia entre 38°C e 40°C durante exercícios realizados no ambiente quente (GONZÁLEZ-ALONSO *et al.*, 1998). No presente estudo, a T_{interna} pré-exercício não foi diferente entre as condições ambientais e, ao término deste, a temperatura interna apresentou valores próximos à 39°C no ambiente quente e inferiores à 38,5°C nos demais ambientes (FIGURA 25).

O exercício físico realizado na temperatura ambiente de 40°C induziu menor variação percentual da massa corporal em relação aos demais ambientes (TABELA 2). O desempenho físico foi prejudicado pelo estresse gerado pelo ambiente quente e, devido à redução na duração do exercício, a variação percentual da massa corporal a 40°C foi menor, embora a taxa de sudorese dos voluntários tenha sido maior. E como a média da variação percentual da massa corporal ao longo dos exercícios foi sempre inferior a 1%, podemos afirmar que a desidratação não influenciou o desempenho aeróbio dos voluntários durante os exercícios prolongados realizados até a fadiga.

O volume de líquido ingerido foi diferente entre todas as situações experimentais. Os voluntários apresentaram uma maior ingestão de água no ambiente quente e uma menor hidratação no ambiente frio (Tabela 2). É interessante notar que os voluntários ingeriram mais água a 40°C, mesmo sendo a duração do exercício neste ambiente inferior à duração nos demais ambientes. Dessa forma, neste estudo foi verificada uma associação direta entre o volume de líquido ingerido e o estresse térmico gerado pela temperatura ambiente.

A sudorese representa a secreção do suor sobre a pele através das glândulas sudoríparas. Neste estudo não foram verificadas diferenças significativas na sudorese total entre as três condições ambientais (TABELA 2). Apesar da duração do exercício no ambiente quente ter sido menor em relação às demais temperaturas ambientais, o fato dos voluntários apresentarem maiores temperaturas da pele pode ter contribuído para igualar a sudorese total entre os três ambientes. Estudos anteriores revelam que quanto maior a temperatura da pele, maior a taxa de sudorese para uma dada temperatura interna.

Em contrapartida, a taxa de sudorese foi diferente entre as três situações experimentais (Figura 27). Como o tempo total do exercício foi maior na temperatura ambiente de 12°C e menor na temperatura de 40°C, a duração do esforço físico contribuiu para que a taxa de sudorese fosse reduzida no ambiente frio, mas aumentada no ambiente quente. Portanto, como a sudorese total não foi diferente entre as situações, uma maior duração no tempo de exercício a 12°C, por exemplo, provocou reduções na taxa de sudorese.

Nas situações experimentais em que os voluntários foram submetidos ao exercício prolongado, a análise da VFC durante o repouso demonstrou que os parâmetros desvio, variância, LF (nu) e HF (nu) apresentaram diferenças significativas entre as situações 40°C e 12°C e entre 40°C e 26°C (Tabela 3). Já o parâmetro média demonstrou diferenças significativas entre as situações 12°C e 26°C e entre 40°C e 26°C. A seguir, iremos discutir o significado fisiológico desses parâmetros que foram diferentes entre as condições ambientais. O parâmetro média representa a média dos intervalos de tempo entre batimentos cardíacos consecutivos em um dado período de análise. Os parâmetros desvio e variância estão relacionados à variabilidade destes intervalos entre cada sístole ventricular. A razão LF/HF é considerada um índice do balanço entre as atividades simpática e parassimpática do coração. Já os índices LF (nu) e HF (nu) referem-se à relativização do poder de cada componente em relação ao poder total do espectro menos o componente VLF (TASK FORCE, 1996).

Sendo assim, o estresse fisiológico causado pelo ambiente quente provocou uma redução na VFC em repouso (redução dos parâmetros média, desvio e variância) em relação aos ambientes frio e temperado. Também foi observado um aumento da atividade simpática (maiores valores no índice LF nu) e redução da atividade parassimpática (menores valores no índice HF nu), o que induziu desequilíbrio no balanço simpato-vagal cardíaco (aumento da razão LF/HF) e consequente aumento da FC de repouso. Ao se comparar as condições 12°C e 26°C, apenas o parâmetro média foi reduzido no ambiente frio em relação ao temperado, o que indica que o ambiente frio modificou de maneira marginal o balanço autonômico cardiovascular.

A variância da FC em repouso apresentou correlação positiva e significativa com o tempo total de exercício no ambiente de 12°C (TABELA 6). A variância representa um parâmetro relacionado com a variabilidade total da FC. Dessa maneira, os

voluntários que iniciaram o exercício com maior VFC em repouso, pelo menos no ambiente frio, foram aqueles que apresentaram melhor desempenho no exercício prolongado. Estudos anteriores demonstraram uma associação positiva entre uma maior VFC em repouso e o predomínio da atividade parassimpática cardíaca (AUBERT *et al.*, 2003; MAKIVIC *et al.*, 2013). Em conjunto, esses achados sugerem que uma maior atividade parassimpática em repouso possa estar associada com melhores desempenhos aeróbios. No entanto, esta afirmação deve ser interpretada com cautela, pois a mesma correlação não foi significativa nos ambientes quente e temperado.

Os nossos resultados corroboram os achados de Sollers (2012) que avaliou a VFC na condição de repouso em 20 indivíduos saudáveis (10 homens e 10 mulheres), nas temperaturas ambientais de 12,7°C, 22,7°C e 35°C. Embora este autor tenha utilizado diferentes faixas de frequência para determinação dos componentes espectrais, observou-se uma redução da atividade parassimpática (menor valor do índice HF) e um aumento da atividade simpática (maior valor do índice LF) no ambiente quente. Brenner *et al.* (1997) expuseram sete indivíduos jovens e saudáveis às temperaturas ambientais de 23°C e 40°C, sempre com 30% de URA. Os indivíduos permaneceram acomodados na posição sentada durante 2 h, das quais foi utilizado um intervalo de 25-40 minutos para a análise da VFC de repouso a partir de dados obtidos com o auxílio de um ECG. Os autores verificaram uma redução nos parâmetros no domínio do tempo (média e desvio) ao compararem o ambiente quente em relação ao temperado. Portanto, os dados do presente estudo também corroboram os resultados de Brenner *et al.* (1997), uma vez que o estresse gerado pelo ambiente quente atenuou os parâmetros da VFC em repouso nos nossos voluntários.

No primeiro estágio do exercício prolongado, os parâmetros média, RMSSD e VLF foram diferentes entre todas as situações experimentais, enquanto que os índices LF e HF apresentaram importantes modificações entre as situações 40°C e 12°C e entre 40°C e 26°C. Sendo assim, o ambiente quente reduziu o intervalo de pulso, ou seja, aumentou a FC durante o primeiro estágio do exercício (em relação aos demais ambientes), de forma que o estresse térmico ambiental também reduziu a atividade parassimpática, sendo esta redução verificada tanto no domínio do tempo (redução do RMSSD), quanto no domínio da frequência (redução do índice HF). Além disso, o aumento da VFC durante o primeiro estágio do exercício, caracterizado por maiores

intervalo de pulso (média) e atividade parassimpática (RMSSD), foi favorecido no ambiente frio em relação aos ambientes quente e temperado.

Além disso, foi verificada a existência de uma correlação positiva entre o parâmetro média e o desempenho físico no ambiente de 40°C (TABELA 7). Logo, os voluntários que pedalarão por mais tempo também apresentaram um maior intervalo de pulso ou menores valores de FC, demonstrando uma maior VFC durante o trecho analisado. Dessa forma, começar o exercício com uma VFC elevada está diretamente associado com a obtenção de um maior desempenho durante esforços físicos prolongados em ambiente quente.

No segundo estágio do exercício prolongado, os parâmetros média, RMSSD, LF e HF foram diferentes entre todas as situações experimentais. Além disso, os parâmetros desvio e variância apresentaram diferenças entre as temperaturas ambientais de 40°C e 12°C, assim como o componente VLF foi menor no ambiente quente em relação às demais condições ambientais. Além disso, com o aumento da intensidade do exercício, os parâmetros da VFC no segundo estágio foram reduzidos em relação ao primeiro estágio, com exceção da razão LF/HF que aumentou entre os estágios. Sendo assim, com exceção dos parâmetros da VFC relacionados a atividade simpática (LF/HF e LF n.u), todos os índices da VFC mencionados anteriormente foram maiores na condição 12°C e menores a 40°C em relação à situação controle. Portanto, durante os dois primeiros estágios do exercício prolongado, o ambiente frio gerou um menor estresse fisiológico que facilitou os ajustes cardiovasculares realizados pelo SNA e que pode ter contribuído para o maior desempenho aeróbio dos voluntários. Por outro lado, o ambiente quente provocou efeitos opostos, reduzindo assim quase todos os parâmetros da VFC, o que indica um maior estresse cardiovascular.

Além disso, foram observadas fortes associações entre o desempenho físico e o parâmetro VLF no ambiente de 26°C (negativa) e o parâmetro LF no ambiente de 40°C (positiva). Vale ressaltar que a contribuição de cada componente espectral na determinação da atividade do SNA não é consenso na literatura. Contudo, existem evidências que o componente VLF esteja relacionado a fatores humorais e termorregulatórios (TASK FORCE, 1996). Dessa maneira, os indivíduos que tiveram um melhor desempenho no ambiente temperado apresentaram uma menor atividade do componente VLF, o que sugere que os indivíduos que tiveram menores ajustes

humorais e termorregulatórios conseguiriam pedalar por mais tempo. Já em relação ao ambiente quente, os voluntários que pedalarão por mais tempo foram aqueles que demonstraram maior atividade do componente LF, o qual está associado tanto a atividade simpática quanto à atividade parassimpática, além da modulação do barorreflexo arterial.

Não foram verificadas correlações significativas entre as alterações percentuais nos parâmetros da VFC (em nenhum dos três momentos analisados) e as alterações percentuais no desempenho físico induzidas pela exposição ao ambiente quente ou frio (TABELAS 9, 10 e 11). Foram observadas apenas algumas tendências estatísticas, como por exemplo, uma tendência de correlação negativa entre as alterações percentuais do parâmetro RMSSD em repouso e as alterações percentuais do desempenho físico induzidas pela exposição a 40°C em relação a 26°C ($P = 0,06$; TABELA 9). No primeiro estágio do exercício, houve uma tendência de correlação positiva entre as alterações no parâmetro variância e as alterações no desempenho causadas pelo ambiente de 40°C em relação ao ambiente de 26°C ($P = 0,05$; Tabela 10). Por fim, no segundo estágio do exercício, houve uma tendência de correlação positiva entre as alterações nos parâmetros desvio e variância e as alterações no desempenho induzidas pelo ambiente de 12°C em relação ao ambiente de 26°C ($P = 0,08$; $P = 0,08$; respectivamente; TABELA 11).

O fato de não termos observado correlações significativas não confirma às nossas hipóteses e descarta a existência de uma possível associação entre as alterações da VFC e as alterações do desempenho físico em seres humanos causadas pela exposição aos ambientes quente e frio. A ausência de correlações foi um resultado inesperado principalmente em relação aos dados do ambiente quente, onde existem evidências mostrando que os fatores cardiovasculares estão associados com os prejuízos do desempenho aeróbio (CHEUVRONT *et al.*, 2010).

Limitações do estudo:

A FC foi registrada por meio do cardiófrequencímetro Polar® RS800 CX, o qual possibilitou a aquisição dos intervalos de pulso utilizados para calcular os parâmetros da VFC. Alguns trechos selecionados para a análise da VFC apresentaram ruídos (que poderiam influenciar a análise da VFC), os quais foram excluídos posteriormente em

um programa adequado. Dessa forma, a omissão destes trechos durante a análise pode ter influenciado no resultado do presente estudo. Além disso, a análise da VFC inter-indivíduos pode ter subestimado um possível efeito preditor do desempenho, uma vez que os parâmetros da VFC durante o exercício oscilaram fortemente entre indivíduos diferentes.

Perspectivas Futuras

Em relação aos próximos trabalhos, pode ser interessante realizar análises da variabilidade da pressão arterial durante exercícios aeróbios, uma vez que existem evidências (PIRES *et al.*, 2013) que esta variável possui uma forte correlação com o desempenho de ratos submetidos ao exercício físico progressivo em ambiente quente (35°C) e temperado (23°C). Dessa forma, a análise da variabilidade da pressão arterial pode ser um potencial preditor do desempenho físico em humanos durante exercícios agudos. Uma outra possibilidade seria realizar a análise da VFC por meio de métodos não lineares, como por exemplo, a análise simbólica e acompanhar a resposta da VFC intra-indivíduo ao longo do tempo.

Aplicação Prática

A análise da VFC fornece informações a respeito da regulação neural do sistema cardiovascular. A partir dos resultados do presente estudo, foi possível conhecer a resposta da VFC durante uma única sessão de exercício físico agudo realizado nos ambientes frio, temperado e quente. A VFC nunca tinha sido estudada anteriormente durante exercícios realizados no ambiente frio. Como o Brasil é um país que possui dimensões continentais e está localizado próximo a linha do Equador, os exercícios físicos realizados no norte (caracterizado por elevadas temperaturas ambientais) e no sul do país (caracterizados por menores temperaturas ambientais) podem induzir à diferentes respostas na VFC para uma mesma intensidade de esforço físico. Portanto, este trabalho permite que profissionais da área da ciências do esporte, tenham uma referência para um melhor entendimento e prescrição das cargas de treinamento, uma vez que diferentes condições ambientais podem modificar de forma significativa o controle neural da FC durante exercícios aeróbios prolongados.

8 CONCLUSÃO

De forma geral, a VFC em repouso foi menor nos ambientes quente e frio em comparação com o ambiente temperado. Durante o exercício prolongado, a VFC foi maior no ambiente frio e menor no ambiente quente em relação ao ambiente temperado.

A análise da VFC realizada em repouso e nos dois primeiros estágios do exercício prolongado de ciclismo não foi uma ferramenta adequada para prever o desempenho físico agudo, uma vez que poucos parâmetros da VFC correlacionaram significativamente com o tempo total de exercício em cada uma das três condições ambientais estudadas.

A redução do desempenho físico causada pelo ambiente quente foi associada, respectivamente, no primeiro e no segundo estágio do exercício prolongado, com o intervalo de pulso (média) e o índice LF. Além disso, foram observadas algumas tendências no primeiro estágio do exercício em relação aos índices LF (nu), HF (nu) e LF ($P = 0,09$; $P = 0,09$; $P = 0,05$; respectivamente) e, no segundo estágio do exercício, em relação ao intervalo de pulso (média; $P = 0,06$).

O aumento do desempenho físico causado pelo ambiente frio não foi associado às alterações nos parâmetros da VFC. Foram observadas algumas tendências no segundo estágio do exercício prolongado em relação aos índices LF (nu), HF (nu) e a razão LF/HF ($P = 0,09$; $P = 0,09$; $P = 0,07$; respectivamente).

REFERÊNCIAS

ACSM – American College of Sports and Medicine. **Diretrizes do ACSM para os testes de esforço e sua prescrição**. 8 ed. Tradução: Giuseppe Taranto. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010.

AKSEROLD *et al.* Power Spectrum Analysis of Heart Rate Fluctuation: A Quantitative Probe of Beat-To-Beat Cardiovascular Control. **Science**, v. 213, n. 4504, p. 220-222, 1981.

ALONSO *et al.* Comportamento da frequência cardíaca e da sua variabilidade durante as diferentes fases do exercício físico progressivo máximo. **Arquivo Brasileiro de Cardiologia**, v.71, n. 6, p. 787-92, 1998.

AMANN, M. Commentaries on Viewpoint: Fatigue mechanisms determining exercise performance: Integrative physiology is systems physiology. **Journal of Applied Physiology**. v. 104, n. 5, p. 1543-1546, 2008.

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

ARMSTRONG, L. E. *et al.* Urinary indices of hydration status. **International Journal of Sports Nutrition**, 4, 265-279, 1994.

ARMSTRONG, L.E.; VANHEEST, J.L. The Unknown Mechanism of the Overtraining Syndrome, **Sports Medicine**, v. 32, n. 3, p. 185-209, 2002.

AUBERT, A.E.; BERT SEPS.; FRANK BECKERS. Heart Rate Variability in athletes. **Sports Medicine**, v.33, n. 12, p. 889-919, 2003.

BALKE, B.; WARE, R.W. An experimental study of physical fitness of Air Force personnel. **United States armed Forces Medical Journal**, v. 10, n. 6, p. 675-688, 1959.

BAUMERT *et al.* Heart Rate Variability, Blood Pressure Variability and Baroreflex Sensitivity in Overtrained Athletes. **Clinical Journal of Sport Medicine**, v. 16, n. 5, p. 412-417, 2006.

BERNNER, I.K.M; THOMAS, S.; SHEPHARD, R.J. Spectral analysis of heart rate variability during heat exposure and repeated exercise. **European Journal of Applied Physiology**, v.76, n. 2, p.145-156, 1997.

BILLMAN, G.E. Heart rate variability – a historical perspective. **Frontiers in Physiology**, v. 2, n. 86, p. 1-13, 2011.

BORG, G. A. Psychophysical bases of perceived exertion. **Med Sci Sports Exerc** 14, p. 377-381, 1982.

BUCHHEIT *et al.* Determinants of the variability of the heart rate measures during a competitive period in young soccer players. **European Journal of Applied and Physiology**, v.109, p. 869-78, 2010.

CHEUVRONT *et al.* Mechanisms of aerobic performance impairment with heat stress and dehydration. **Journal of Applied Physiology**, v. 109, n. 6, p. 1989-1995, 2010.

DE BARROS *et al.* Maximal lactate steady is altered in the heat. **International Journal of Sports Medicine**, v. 32, n. 10, p. 749-53, 2011.

FADEL, P.J; RAVEN, P.B. Human investigations into the arterial and cardiopulmonary baroreflexes during exercise. **Experimental Physiology**, v. 97, n. 1, p. 39-50, 2012.

FLETCHER, W. M, HOPKINS, W. G. Lactic acid in amphibian muscle. **J. Physiol. (Lond)**, v.35, p.247-309, 1907.

FLOURIS *et al.* Heart rate variability during exertional heat stress: effects of heat production and treatment. **European Journal of Applied Physiology**, v.114, p. 785–792, 2014.

FONSECA, I. A. T. **Medida do conforto térmico durante as aulas de Educação Física em climas tropicais.** Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

GALLOWAY, S.D.; MAUGHAN, R.J. Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 29, n. 9, p. 1240-1249, 1997.

GANDEVIA, S.C. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. **Physiological Review**, v. 81, n. 4, p. 1725-89, 2001.

GONZÁLEZ-ALONSO, J. Human thermoregulation and the cardiovascular system. **Experimental Physiology**, v.97, n.3, p.340–346, 2012.

GONZÁLEZ-ALONSO, J. Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. **Journal of Applied Physiology**, v. 86, n.3, p. 1032–1039, 1999.

GUZZETTI *et al.* Symbolic dynamics of heart rate variability: a probe to investigate autonomic modulation. **Circulation**, v. 112, n. 4, p. 465-470, 2005.

HALES, S. **Statistical Essays**: Concerning Haemastatics; or, an Account of some Hydraulic and Hydrostatical Experiments made on the Blood and Blood-Vessels of Animals. London: W. Innys and R. Manby, 1733.

HAYES *et al.* Gadolinium inhibits group III but not group IV muscle afferent responses to dynamic exercise. **The Journal of Physiology**, v. 4, p. 873–882, 2009.

HOLTER, N. J. New method for heart rate studies continuous electrocardiography of active subjects. **Science.**, 134, 1214-1220, 1961.

HON, E. H., LEE, S. T. Electronic evaluations of fetal heart rate patterns preceding fetal death, further observations. **Am. J. Obset. Gynecol.**, 87, 814-826, 1965.

IELLAMO, F. Neural Mechanisms of cardiovascular regulation during exercise. **Autonomic Neuroscience: basic & clinical**, v. 90, n. 1-2, p. 66-75, 2001.

INTERNATIONAL UNION OF PHYSIOLOGY SCIENCES (IUPS THERMAL COMMISSION). Glossary of terms for thermal physiology, **The Japanese Journal of Physiology**, v. 51, n. 2, 2001.

ISO 9886. Evaluation of thermal strain by physiological measurements. International Organization for Standardization. **Ergonomics** Geneva. ED 2, 2004.

JACKSON A. S.; POLLOCK, M. L. Generalized equations for predicting body density of men. 1978. **Br J Nutr**, v.91, n.1, p.161-8, 2004.

JOHNSON, J.M. Exercise in a hot environment: the skin circulation. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 20, n. 3, p. 29-39, 2010.

KAWAGUCHI *et al.* Caracterização da variabilidade de frequência cardíaca e sensibilidade do barorreflexo em indivíduos sedentários e atletas do sexo masculino. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 13, n. 4, p. 231-36, 2007.

KUIPERS, H. *et al.* Variability of performance aerobic in the laboratory and its physiological correlates. **International Journal of Sports Medicine**, v.6, n.4, p. 197-01, 1985.

LUDWIG, C. Beitrage zur Kenntniss des Einflusses der Respirationen bewegungen auf den Blutlauf im Aortensysteme. **Arch. Anat. Physiol.**, 13, 242-3027, 1847.

MAKIVIC, B.; NIKIC, M.D.; WILLIS, M.S. Heart Rate Variability (HRV) as a Tool for Diagnostic and Monitoring Performance in Sport and Physical Activities. **Journal of Exercise Physiology**, v. 16, n. 3, p. 103-131, 2013.

MARTINI, A. R. P. **Raspar a cabeça não altera a velocidade na corrida de 10 km sob o sol.** Dissertação (Mestrado em Ciências do Esporte) – Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

MASTORAKOS *et al.* Exercise and the Stress System. **Hormones (Athens)**, v. 4, n. 2, p. 73-89, 2005.

MEEUSEN, R *et al.* Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. **Medicine Science and Sports Exercise**. v. 45, n. 1, p.186–205, 2013.

MICHAEL JEET JR.; ADAMS, K.J.; STAMFORD, A. Cold Exposure and Exercise Metabolism. **Sports Medicine**, v. 36, n. 8, p. 643-656, 2006.

MICHELINI *et al.* Neural control of circulation and exercise: a translational approach disclosing interactions between central command, arterial baroreflex and muscle metaboloreflex. **American Journal of Physiology**, v. 309, n. 3, p. 381-392, 2015.

MOSSO, A. **Fatigue**. London: Allen & Unwin Ltd, 1915.

NAKAMURA *et al.* Regional Differences in temperature sensation and thermal comfort in humans. **Journal of Applied Physiology**. v. 105, p. 1897-1906, 2008.

NOAKES, T.D. Fatigue is a Brain-Derived Emotion that Regulates the Exercise Behavior to Ensure the Protection of Whole Body Homeostasis. **Frontiers in Physiology**, v. 3, n. 82, p. 1-13, 2012.

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, n. 4, p. 511-514, 2004.

PIRES *et al.* Physical Exercise Performance in Temperate and Warm Environments Is Decreased by an Impaired Arterial Baroreflex. **PLOS ONE**. v. 8, n. 8, 2013.

PLEWS *et al.* Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: opening the door to effective monitoring. **Sports Medicine**, v. 43, n. 9, p. 773-781, 2013.

PORTA *et al.* Assessment of cardiac autonomic modulation during graded head-up tilt by symbolic analysis of heart rate variability. **American Journal of Physiology**, v. 293, n. 1, p. 702-708, 2007.

RACINAIS, S. Different effects of heat exposure upon exercise performance in the morning and afternoon. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**. v. 20, n. 3, p. 80-89, 2010.

RODRIGUES, L. O. C.; SILAMI-GARCIA, E. Fadiga: falha ou mecanismo de proteção? **Temas atuais em Educação Física**, 14, 3, 2008.

ROMANOVSKY, A.A. Skin temperature: its role in thermoregulation. **Acta Physiologica**, v. 210, n. 3, p. 498-507, 2014.

QUINTANA, D.S.; HEATHERS, J.A.J.; KEMP, A.H. On the validity of using the Polar RS800 heart rate monitor for heart rate variability research. **European journal of Applied Physiology**, v. 112, n. 12, p. 4179-80, 2012.

SAMPAIO, I.B.M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. 3 ed. Belo Horizonte: Fundação de Estudo e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia – UFMG, 2010.

SCHMITT *et al.* Fatigue Shifts and Scatters Heart Rate Variability in Elite Endurance Athletes. **PLOS ONE**, v.8, n.8, p.715-88, 2013.

SOLLERS *et al.* Examining Changes in HRV in Response to Varying Ambient Temperature. **IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY**, v. 21, n. 4, p. 30-34, 2002.

TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY AND THE NORTH AMERICAN SOCIETY OF PACING AND ELECTROPHYSIOLOGY. Heart Rate Variability – Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. **European Heart Journal**, v. 17, n. 3, p. 354-381, 1996.

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

VALLERAND, A.L.; JACOBS, I. Rates of energy substrates utilization during human cold exposure. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 58, n. 8, p. 873-878, 1989.

VANDERLEI *et al.* Noções Básicas de Variabilidade da Frequência Cardíaca e sua Aplicabilidade Clínica. **Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular**, v. 24, n. 2, p. 205-17, 2009.

WALLÉN *et al.* Possibilities and limitations of the polar RS800 in measuring heart rate variability at rest. **European Journal of Applied Physiology**, v. 112, n. 3, p. 1153–1165, 2012.

WEIPPERT, M. Comparison of three mobile devices for measuring R–R intervals and heart rate variability: Polar S810i, Suunto t6 and an ambulatory ECG system. **European Journal of Applied Physiology**. v. 109, n. 4, p.779–786, 2010.

ANEXOS

ANEXO A – Questionário de Prontidão para a Atividade Física

PAR-Q

QUESTIONÁRIO DE PRONTIDÃO PARA A ATIVIDADE FÍSICA

Este questionário deve ser aplicado antes do início de um programa de atividade física regular, visando identificar os indivíduos para quem a atividade física pode ser inadequada ou aqueles que precisam de acompanhamento médico durante o exercício.

RESPONDA HONESTAMENTE ÀS QUESTÕES ABAIXO:

1 - Alguma vez um médico lhe disse que você possui um problema do coração e lhe recomendou que só fizesse atividade física sob supervisão médica?

Sim Não

2 - Você sente dor no peito, causada pela prática de atividade física?

Sim Não

3 – Recentemente você sentiu dor no peito?

Sim Não

4 - Você tem freqüentes sensações de desmaio ou crises severas de tontura?

Sim Não

5 – Alguma vez seu médico lhe disse que você tem problemas ósseos ou articulares que podem ser agravados ou que pioraram com a prática de exercícios?

Sim Não

6 - Algum médico já lhe recomendou o uso de medicamentos para controle da pressão arterial ou para algum problema cardíaco?

Sim Não

7 - Você sabe de algum outro motivo não mencionado para que você não faça atividade física regular?

Sim Não

Se você respondeu:

SIM a uma ou mais perguntas, recomenda-se avaliação médica antes do início do programa de exercícios.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Conteúdo do TCLE

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE

ESTUDO DA ASSOCIAÇÃO ENTRE A VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA E O DESEMPENHO FÍSICO DURANTE O EXERCÍCIO REALIZADO EM DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS

Orientador: Prof. Dr. Samuel Penna Wanner Pesquisador: Wesley Henrique de
Moura Santos

_____, você está sendo convidado a participar de uma pesquisa científica.

O propósito desta pesquisa é investigar se existe uma associação entre a variabilidade da frequência cardíaca e o desempenho físico durante o exercício realizado em diferentes condições ambientais. Tal pesquisa será realizada no Laboratório de Fisiologia do Exercício (LAFISE) da UFMG, onde os dados serão coletados entre março de 2015 e junho de 2015.

Se você for participar como voluntário deverá preencher uma ficha de dados pessoais e responder a um questionário que indica a sua prontidão para realizar exercícios físicos, o que exigirá cerca de 15min. Deverá realizar sete visitas ao laboratório. A 1ª visita para medidas de peso, estatura, percentual de gordura e realização de um teste de potência máxima ($P_{MÁX}$), com duração aproximada de 10min durante o qual você vai pedalar o máximo que conseguir. Na 2ª, 3ª e 4ª visitas, você irá se familiarizar com o protocolo de exercício em ambiente frio, temperado e quente, pedalando em bicicleta ergométrica com carga correspondente a $50\%P_{MÁX}$ e temperatura ambiente de 12°C, 26°C e 40°C, respectivamente, com 50% da umidade relativa do ar, até que não consiga mais se exercitar ou até que sua T_{RETAL} alcance 40°C. Durante estas visitas sua frequência cardíaca (FC) será monitorada constantemente durante os testes. Na 5ª, 6ª e 7ª visitas, novamente, você realizará o protocolo de exercício em ambiente frio, temperado e quente, com carga correspondente a $50\%P_{MÁX}$ até que não consiga mais se exercitar ou até que sua T_{RETAL} alcance 40°C. Além disso, você deve inserir uma sonda retal, descartável, maleável, com aproximadamente 2mm de diâmetro, para que sua temperatura retal (T_{RETAL}) seja monitorada continuamente. Durante estas visitas, após a realização dos procedimentos pré-experimentais (vestir uma roupa adequada para realizar o exercício, inserção da sonda retal e colocação do cardiofrequencímetro), você deve permanecer em repouso durante 30 minutos. Nas situações experimentais, sua FC e T_{RETAL} serão monitoradas constantemente antes, durante e após o exercício.

Ao participar deste estudo você está sujeito a alguns riscos naturalmente associados ao exercício físico, como: lesões músculo-esqueléticas, distúrbios e incômodos causados pelo cansaço durante a atividade. As medidas de peso, altura, FC e preenchimento de questionários, são simples e corriqueiras, mas podem ocasionar

alguma ansiedade. O teste de $P_{MÁX}$ acarretará cansaço e alterações na FC e na PA, a chance, bastante remota, de um evento cardíaco é minimizada pelos critérios adotados para interrupção do exercício. Durante os testes realizados na 5^a, 6^a e 7^a visitas, será necessário o uso de sonda retal, embora tal sonda seja inserida e retirada somente por você, seu uso durante o exercício aumenta a possibilidade de que você sinta desconforto. Existe um risco de lesões provocadas pelo calor que incluem: câimbras, inchaços, náuseas, vômitos, tonturas, desmaios, o risco de um choque hipertérmico, no qual ocorre insuficiência cardiorrespiratória, hepática, renal, que podem ocasionar coma e morte, é mínimo, pois este quadro está associado à desidratação e T_{RETAL} acima de 41°C e nesta pesquisa além do estado de hidratação ser monitorado, o exercício será imediatamente interrompido caso sua T_{RETAL} alcance 40°C, ou caso você apresente qualquer sintoma que indique a possibilidade de choque hipertérmico.

Em nenhum momento da coleta você sofrerá qualquer tipo de preconceito ou discriminação. Você está isento de qualquer ajuda de custo pela participação na pesquisa. Os resultados deste estudo serão publicados, mas seus dados pessoais não serão divulgados.

Além de contribuir para maior conhecimento sobre o tema e para os avanços das pesquisas desta área de conhecimento, você será pessoalmente beneficiado, pois terá acesso a testes físicos gratuitos que indicarão sua atual condição física e cujos resultados podem ser usados como parâmetros para programação de treino para melhoria de sua saúde ou rendimento.

Você pode contactar os pesquisadores pessoalmente, por e-mail ou por telefone (LAFISE: 31-3409-2350) para esclarecer dúvidas referentes à pesquisa ou à sua participação, a qualquer momento, antes ou depois de consentir em participar da mesma.

Você se compromete a seguir as orientações dadas durante o estudo e principalmente a informar aos pesquisadores sobre desconfortos ou lesões sofridas antes ou durante a pesquisa, pois durante todo o processo o seu bem-estar será privilegiado.

Esta pesquisa será submetida ao Comitê de Ética em Pesquisas (COEP) da UFMG, cujo telefone é: 31-3409-4592, este comitê funciona no Campus Pampulha da UFMG: Av. Antonio Carlos, 6627, Unidade Administrativa II, 2º andar, sala 2005, Belo Horizonte, MG, CEP 31270-901. Assim esse termo está de acordo com a Resolução 466 do Conselho Nacional de Saúde de 12/12/2012, que protege os direitos dos seres humanos em pesquisas. Qualquer dúvida quanto aos seus direitos como sujeito participante em pesquisas, ou se sentir que foi colocado em riscos não previstos, você poderá contatar o COEP para esclarecimentos.

Após assinar este termo você deve receber uma cópia do mesmo, devidamente assinada pelos responsáveis pela pesquisa.

CONSENTIMENTO

Após ter lido as informações descritas neste termo, recebido orientações sobre a natureza, riscos e benefícios do projeto e tendo tido oportunidade de formular perguntas, consinto de boa vontade em participar do estudo submetendo-me aos testes descritos.

Comprometo-me a colaborar voluntariamente e compreendo que posso retirar meu consentimento e interromper minha participação a qualquer momento, sem penalidades.

Declaro que após assinar este termo, recebi cópia do mesmo, no entanto, não estou desistindo de quaisquer direitos meus.

Belo Horizonte, ____ de _____ de 20 ____

Voluntário CPF:

Pesquisador – Mestrando Wesley Henrique de Moura Santos

Pesquisador - Prof. Dr. Samuel Penna Wanner