

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
AGÊNCIA DE INOVAÇÃO, EMPREENDEDORISMO, PESQUISA, PÓS-  
GRADUAÇÃO E INTERNACIONALIZAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA  
MESTRADO ACADÊMICO

**COMPORTAMENTO DA VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA E  
TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA NO DANO MUSCULAR INDUZIDO  
PELO EXERCÍCIO**

WANESSA KAROLINE BRITO MARQUES

SÃO LUÍS

2022

WANESSA KAROLINE BRITO MARQUES

**COMPORTAMENTO DA VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA E  
TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA NO DANO MUSCULAR INDUZIDO  
PELO EXERCÍCIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física da Universidade Federal do Maranhão, para obtenção do Título de Mestre em Educação Física.

Área de Concentração: Biodinâmica do Movimento Humano.

Linha de Pesquisa: Análise do Desempenho Humano e Esportivo.

Orientador: Prof. Dr. Christiano Eduardo Veneroso

Co-Orientador: Prof. Dr. Christian Emmanuel Torres Cabido

São Luís

2022

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Brito Marques, Wanessa Karoline.

COMPORTAMENTO DA VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA E  
TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA FRENTE AO DANO MUSCULAR INDUZIDO  
PELO EXERCÍCIO / Wanessa Karoline Brito Marques. - 2022.

86 p.

Coorientador(a): Christian Emmanuel Torres Cabido.

Orientador(a): Christiano Eduardo Veneroso.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em  
Educação Física/ccbs, Universidade Federal do Maranhão,  
São Luís - MA, 2022.

1. Exercício Excêntrico. 2. Termografia  
Infravermelha. 3. Variabilidade da Frequência Cardíaca.  
I. Torres Cabido, Christian Emmanuel. II. Veneroso,  
Christiano Eduardo. III. Título.

WANESSA KAROLINE BRITO MARQUES

**COMPORTAMENTO DA VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA E  
TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA NO DANO MUSCULAR INDUZIDO  
PELO EXERCÍCIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física da Universidade Federal do Maranhão, para obtenção do Título de Mestre em Educação Física.

---

Prof. Dr. Christiano Eduardo Veneroso (Orientador)

---

Prof. Dr. Christian Emmanuel Torres Cabido (Co-orientador)

---

Prof. Dr. Eduardo Mendonça Pimenta (Externo)

---

Prof. Dr. Almir Vieira Dibai Filho (Interno)

---

Prof. Dr. Cristiano Teixeira Mostarda (Interno)

São Luís

2022

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder todos os dias de vida com saúde para que eu pudesse trabalhar, estudar e buscar realizar meus sonhos.

A minha mãe, por todo o amor e apoio, pelas palavras de incentivo, confiança e orgulho expressas para comigo em momentos bons e ruins.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Christiano Eduardo Veneroso por confiar e acreditar no meu potencial desde a graduação como aluna PIBIC, pela tranquilidade que transmitiu em sua orientação, fez toda a diferença em tempos difíceis de pandemia e quarentena, que tornou o processo ainda mais árduo.

Ao meu Co-Orientador, Prof. Dr. Christian Emmanuel Torres Cabido, por conselhos e apontamentos cruciais, e pela sua paciência.

Ao Prof. Dr. Antônio Coppi Navarro, que me aconselhou desde o início, por me apresentar a pesquisa científica, e fazer com que eu me interessasse em estar dentro do laboratório, pelas idas aos congressos, mais que um professor acadêmico, um grande amigo.

Aos meus amigos, Paula Júlia Chaves amiga de turma com quem compartilhei aflições e surtos diários de todo o processo. E meus amigos de trabalho Matheus Vinicius e Rayson Rodrigues por fazerem meus dias mais alegres, esquecendo das dificuldades diárias e pelo apoio expresso em palavras.

Por fim, mais não menos importante, aos voluntários que aceitaram participar da pesquisa e que colaboraram para que tudo ocorresse como planejado.

## DEDICATÓRIA

*Trabalho dedicado à minha amada mãe (Paula Brito) pelo apoio incondicional a todos os meus sonhos e projetos pessoais.*

## RESUMO

**Objetivo:** o objetivo deste estudo é investigar a relação entre a ativação nervosa autonômica e a termografia infravermelha após um protocolo de exercício excêntrico. **Materiais e Métodos:** A amostra foi composta por dez voluntários do sexo masculino, fisicamente ativos com faixa etária compreendendo dos 18 aos 30 anos. Os sujeitos foram alocados em um único grupo experimental. Foram realizadas no laboratório as seguintes coletas: variabilidade da frequência cardíaca (VFC), escalas subjetivas de dor e recuperação, avaliação termográfica e testes de saltos. O protocolo de exercícios para induzir dano muscular foi composto por saltos pliométricos. Todos os procedimentos supracitados foram repetidos nos momentos de recuperação de 24 horas, 48 horas e 72 horas. **Resultados:** Os resultados para EVA demonstraram aumento significativo nos momentos pós protocolo 24, 48 e 72h ( $p=0,000$ ;  $p=0,000$  e  $p=0,002$ ) quando comparado ao basal, o mesmo foi verificado para os resultados de PSR, apresentando uma redução no momento 72h ( $p=0,003$ ). Para a temperatura irradiada da pele, verificou-se aumentos significativos na distribuição de pixels para as regiões anterior de coxa nas zonas fria e neutra nos momentos 24h e 48h, respectivamente ( $p=0,001$ ;  $p=0,035$ ;  $p=0,035$ ;  $p=0,001$ ) e na região posterior nas zonas fria nos momentos basal, 24, 48h ( $p=0,034$ ;  $p=0,000$ ;  $p=0,017$ ) e quente em todos os momentos ( $p=0,006$ ;  $p=0,003$ ;  $p=0,003$ ;  $p=0,045$ ). Já na região anterior de perna diferenças significativas encontradas nas zonas fria no momento 24h ( $p=0,000$ ) e neutra no basal e 24h ( $p=0,039$ ;  $p=0,000$ ) e os valores na região posterior diferenças na zona fria no basal e 24h ( $p=0,027$ ;  $p=0,002$ ) e neutra no momento basal ( $p=0,038$ ). Para os valores da VFC, a razão LF/HF houve diferenças significativa em todos os momentos de análise ( $p=0,000$ ;  $p=0,011$ ;  $p=0,002$ ;  $p=0,013$ ). Quando analisado índices separadamente em %HF houve diferença nos momentos 24h-48h e 48h-72h ( $p=0,016$ ;  $p=0,015$ ) e %LF apresentou diferenças significativas em todos os momentos analisados. **Conclusão:** Ao descrever o comportamento da temperatura irradiada da pele pela TI, assim como a participação autonômica pela VFC no domínio da frequência, frente ao protocolo indutor de dano muscular. Com base nos achados, podemos prever que estes métodos podem ser utilizados para avaliar os efeitos do exercício excêntrico sobre respostas fisiológicas de controle térmico da pele e da modulação autonômica simpática e parassimpática, como forma de monitoramento para possíveis lesões musculares.

**Palavras-chaves:** exercício excêntrico; termografia infravermelha; variabilidade da frequência cardíaca.

## ABSTRACT

**Objective:** The aim of this study is to investigate the relationship between autonomic nerve activation and infrared thermography after an eccentric exercise protocol. **Materials and Methods:** The sample consisted of ten male volunteers, physically active, aged between 18 and 30 years. Subjects were allocated to a single experimental group. The following collections were performed in the laboratory: heart rate variability (HRV), subjective pain and recovery scales, thermographic evaluation and jumping tests. The exercise protocol to induce muscle damage consisted of plyometric jumps. All of the above procedures were repeated at the 24-hour, 48-hour and 72-hour recovery times. **Results:** The results for VAS showed a significant increase in the post-protocol moments 24, 48 and 72h ( $p=0.000$ ;  $p=0.000$  and  $p=0.002$ ) when compared to baseline, the same was verified for the PSR results, showing a reduction at 72h ( $p=0.003$ ). For the irradiated skin temperature, there were significant increases in the distribution of pixels for the anterior thigh regions in the cold and neutral zones at 24h and 48h, respectively ( $p=0.001$ ;  $p=0.035$ ;  $p=0.035$ ;  $p=0.001$ ) and in the posterior region in the cold zones at baseline, 24, 48h ( $p=0.034$ ;  $p=0.000$ ;  $p=0.017$ ) and hot at all times ( $p=0.006$ ;  $p=0.003$ ;  $p=0.003$ ;  $p=0.045$ ). In the anterior region of the leg, significant differences found in the cold zone at 24h ( $p=0.000$ ) and neutral at baseline and 24h ( $p=0,039$ ;  $p=0,000$ ) and the values in the posterior region differences in the cold zone at baseline and 24h ( $p=0.027$ ;  $p=0.002$ ) and neutral at baseline ( $p=0,038$ ). For HRV values, the LF/HF ratio, there were significant differences at all times of analysis ( $p=0.000$ ;  $p=0.011$ ;  $p=0.002$ ;  $p=0.013$ ). When analyzed separately in %HF, there was a difference between 24h-48h and 48h-72h ( $p=0.016$ ;  $p=0.015$ ) and %LF showed significant differences at all analyzed moments. **Conclusion:** By describing the behavior of the skin temperature irradiated by IT, as well as the autonomic participation by HRV in the frequency domain, against the muscle damage-inducing protocol. Based on the findings, we can predict that these methods can be used to assess the effects of eccentric exercise on physiological responses of skin thermal control and sympathetic and parasympathetic autonomic modulation, as a way of monitoring for possible muscle injuries.

**Key-words:** eccentric exercise; infrared thermography; heart rate variability.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Representação do Intervalo RR (Fonte: Disponível em: <a href="https://www.researchgate.net/figure/figura-1-Exemplo-de-intervalo-RR-e-a-respectiva-serie-temporal-utilizada-para-analise-da-fig_1_269673343">https://www.researchgate.net/figure/figura-1-Exemplo-de-intervalo-RR-e-a-respectiva-serie-temporal-utilizada-para-analise-da-fig_1_269673343</a> .....	22
<b>Figura 2.</b> Representação da Plotagem de Poincaré pelo Programa HRV Analysis (Fonte: CAMBRI <i>et al.</i> , 2008: pág. 04) .....	24
<b>Figura 3.</b> Rompimento do sarcômero seguido de uma contração excêntrica. A – Sarcômeros de um músculo normal demonstrando um bom alinhamento e padrão regular das bandas. B – Sarcômeros de um músculo exposto a contração excêntrica demonstrando com rompimentos na região do disco Z. (Fonte: TIDUS, 2008: p. 7) .....	28
<b>Figura 4.</b> Esquema do dano muscular seguido de contração excêntrica (Fonte: Adaptado de PROSKE, 2001: p. 334) .....	30
<b>Figura 5.</b> Características radioativas de um corpo (Fonte: Adaptado QUESADA, 2017. pág.39) .....	36
<b>Figura 6.</b> Visão geral do processo de coleta do protocolo experimental.....	43
<b>Figura 7.</b> Escala Visual analógica ou Escala numérica de Dor (Fonte: adaptado de Ferreira-Valente <i>et al.</i> , 2011) .....	45
<b>Figura 8.</b> Escala de Percepção de Recuperação (Fonte: adaptado de Morandi <i>et al.</i> , 2020) .....	45
<b>Figura 9.</b> Termopixelografia (TPG) anterior (A) e posterior (B) da coxa e perna com regiões de interesse marcadas (ROI's) tomadas para análise automática em três zonas de temperatura (zona fria, neutra e quente) .....	47
<b>Figura 10.</b> Ilustração da análise no domínio da frequência (análise espectral) da VFC (Fonte: Kubios software for HRV/Download Scientific Diagram) .....	49
<b>Figura 11.</b> Resultados da Percepção Subjetiva de Recuperação – PSR nos momentos Basal, 24h, 48h e 72h.....	51
<b>Figura 12.</b> Resultados da Escala Visual Analógica – EVA nos momentos Basal, 24h, 48h e 72h.....	52
<b>Figura 13.</b> Resultados da Distribuição de Pixels em zonas fria, neutra e quente da região anterior da coxa, pela Termografia Infravermelha nos momentos Basal, 24h, 48h e 72h.....	53
<b>Figura 14.</b> Resultados da Distribuição de Pixels em zonas fria, neutra e quente da região posterior da coxa, pela Termografia Infravermelha nos momentos Basal, 24h, 48h e 72h.....	55
<b>Figura 15.</b> Resultados da Distribuição de Pixels em zonas fria, neutra e quente da região anterior da perna, pela Termografia Infravermelha nos momentos Basal, 24h, 48h e 72h.....	56

<b>Figura 16.</b> Resultados da Distribuição de Pixels em zonas fria, neutra e quente da região posterior da perna, pela Termografia Infravermelha nos momentos Basal, 24h, 48h e 72h.....	57
<b>Figura 17.</b> Resultados da Razão LF/HF da VFC no domínio da frequência (análise espectral) nos momentos Basal, 24h, 48h e 72h .....	59
<b>Figura 18.</b> Resultados absolutos da VFC no domínio da frequência – High Frequency (análise espectral) nos momentos Basal, 24h, 48h e 72h.....	60
<b>Figura 19.</b> Resultados relativos da VFC no domínio da frequência – High Frequency (análise espectral) nos momentos Basal, 24h, 48h e 72h.....	61
<b>Figura 20.</b> Resultados absolutos da VFC no domínio da frequência – Low Frequency (análise espectral) nos momentos Basal, 24h, 48h e 72h.....	62
<b>Figura 21.</b> Resultados relativos da VFC no domínio da frequência – Low Frequency (análise espectral) nos momentos Basal, 24h, 48h e 72h .....	63
<b>Figura 22.</b> Resultado total em milissegundos da VFC no domínio da frequência (análise espectral) nos momentos Basal, 24h, 48h e 72h.....	64

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Zonas de temperatura do Software Apollo (Omni, Brasil) .....	47
<b>Tabela 2.</b> Característica descritivas antropométrica da amostra .....	51
<b>Tabela 3.</b> Resultado do tamanho de efeito para as zonas de distribuição de pixels da coxa .....	55
<b>Tabela 4.</b> Resultado do tamanho de efeito para as zonas de distribuição de pixels da perna .....	58
<b>Tabela 5.</b> Resultado do tamanho de efeito para as medidas de VFC no domínio da frequência .....	64

## **LISTA DE SIGLAS**

**DM** – Dano Muscular

**EROs** – Espécies Reativas de Oxigênio

**EVA** – Escala Visual Analógica

**HF** – *High Frequency*

**IPAQ** – Questionário Internacional de Atividade Física

**LF** – *Low Frequency*

**NE** – Norepinefrina

**PSR** – Percepção Subjetiva de Recuperação

**RCI** – Região Corporal de Interesse

**SNA** – Sistema Nervoso Autônomo

**SNS** – Sistema Nervoso Simpático

**TI** – Termografia Infravermelha

**ULF** – *Ultra Low Frequency*

**VFC** – Variabilidade de Frequência Cardíaca

**VLF** – *Very Low Frequency*

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	14
2. JUSTIFICATIVA .....	17
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	18
3.1. Sistema Nervoso Autônomo .....	18
3.2. Variabilidade da Frequência Cardíaca .....	21
3.3. Sistema Imunológico .....	25
3.4. Dano Muscular e Inflamação .....	27
3.5. Termografia Infravermelha .....	32
3.6. Princípios Físicos da Termografia Infravermelha .....	34
3.7. Termografia Infravermelha e Ciências do Esporte .....	36
3.8. Correlação Termografia infravermelha e Variabilidade da Frequência Cardíaca .....	38
4. OBJETIVO GERAL .....	40
4.1. Objetivos Específicos .....	40
5. HIPÓTESES .....	40
6. MATERIAIS E MÉTODOS .....	41
6.1. Considerações Éticas .....	41
6.2. Grupo Amostral .....	41
6.3. Delineamento do Estudo .....	42
6.4. Composição Corporal .....	43
6.5. Familiarização .....	43
6.6. Protocolo de Dano Muscular .....	44
6.7. Avaliação de Dor Muscular de Início Tardio .....	44
6.8. Avaliação da Percepção Subjetiva de Recuperação .....	45
6.9. Termografia Infravermelha .....	46
6.10. Variabilidade da Frequência Cardíaca .....	48
6.10.1. Variabilidade da Frequência Cardíaca no Domínio da Frequência .....	48
6.11. Análise Estatística .....	49
7. RESULTADOS .....	51
8. DISCUSSÃO .....	65
9. CONCLUSÃO .....	73
REFERÊNCIAS .....	74
APÊNDICE .....	82
Apêndice A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	
ANEXO .....	85
Questionário Internacional de Atividade Física – VERSÃO CURTA	

## 1. INTRODUÇÃO

O exercício físico é considerado um agente estressor que gera perturbações a homeostase. Dependendo do nível de estresse provocado pelo exercício físico, o sistema imunológico gera uma resposta inflamatória, sinalizando para o sistema nervoso autônomo, por meio de citocinas pró-inflamatórias (BENARROCH, 2007). Esta via dependente caracteriza um ciclo de feedback complexo entre os órgãos linfoides e o sistema nervoso simpático para iniciar o processo de reparação e restauração da homeostase (ALVES *et al.*, 2007; ANDERSSON *et al.*, 2012).

Dentre os sistemas envolvidos nesse feedback estão o sistema nervoso autônomo (SNA) que compreende os sistemas nervoso simpático, parassimpático e o sistema entérico (MADDEN *et al.*, 1994; ALENKOV *et al.*, 2000; WEHRWEIN, 2016). O SNA é o principal responsável por funções fisiológicas importantes como o fluxo e a pressão sanguínea, demandas metabólicas dos tecidos, termorregulação, motilidade, secreção trato gastrointestinal e outros, a fim de preservar a homeostase diante de perturbações de origem interna e externa, principalmente por meio da relação integrativa com os sistemas imunológico e neuroendócrino (SHIELDS, 1993; BENARROCH, 2007).

A comunicação entre os sistemas é organizada potencialmente por citocinas liberadas por células do sistema imune inato que fornecem sinais para inibir a resposta imunomoduladora pelas vias simpáticas e vagais que iniciam ações pró-inflamatórias, anti-inflamatória e imunossupressoras (BENARROCH, 2009; 2019). O sistema nervoso simpático possui importante participação na

função imunológica, pois inerva principalmente órgãos linfoides primários e secundários, exercendo suas influências simpáticas através da liberação de norepinefrina (NE) em órgãos linfoides periféricos e via adrenalina circulante secretada pela medula adrenal (BENARROCH, 2009; PAVLOV *et al.*, 2018).

No dano muscular induzido por exercícios físicos extenuantes, não habituais e de maior demanda excêntrica, ocorre a instauração de um processo inflamatório agudo caracterizado pelo surgimento de cinco sinais cardinais, dentre eles vermelhidão, inchaço, dor, calor e perda de função (FREIRE e VAN DYKE, 2013). A inflamação, por sua vez, é uma reação ou resposta de defesa do organismo a uma infecção ou lesão dos tecidos, cujo objetivo é promover a cura ou reparo (SILVA e MACEDO, 2011). Sendo assim, o dano muscular está também associado a uma resposta inflamatória e a um aumento de citocinas e outros marcadores sanguíneos inflamatórios (ISPIRLIDIS *et al.*, 2008; MOHR *et al.*, 2016; SOUGLIS *et al.*, 2018).

As funções simpáticas e parassimpáticas são alteradas devido ao processo inflamatório, ocasionado a partir do dano muscular induzido pelo exercício. O simpático tem sua atividade predominante em condições que controlam respostas de “luta e fuga”, ou seja, condições de emergência ou preparação para atividade extenuante e durante o exercício físico. Já o sistema parassimpático predomina em condições de repouso, regulando funções corporais básicas, conservando e armazenando energia (MCCORRY, 2007; WEHRWEIN *et al.*, 2016). A modulação entre o sistema simpático e parassimpático pode ser avaliada por meio da variabilidade da frequência cardíaca (VFC - análise do domínio do tempo e da frequência). O domínio da frequência é a razão ou relação LF/HF (Baixa frequência/Alta frequência) que se

refere as alterações absolutas e relativas entre a atividade simpática e parassimpática do sistema nervoso autônomo, representando o balanço simpato-vagal sobre o coração, com variação de 1 e 2 para indivíduos adultos em repouso, em que quanto maior o valor expresso nesta razão, maior será a predominância simpática (VENTURA, 2010; HOSHI, 2009; CAMBRI *et al.*, 2008).

Dentre estes sinais cardinais já mencionados, o calor, ou seja, o aumento de temperatura cutânea, oriundo do dano muscular juntamente com o processo inflamatório iniciado por macrófagos e neutrófilos ocasionam esse aumento de temperatura. Que conseqüentemente está relacionado ao aumento de trabalho e a maior produção de energia a ser dissipada em forma de calor que é diretamente relacionado a ativação simpática no sistema nervoso autônomo (WEHRWEIN *et al.*, 2016). Assim se baseia a termorregulação cutânea realizada por meio de diversas respostas fisiológicas para desencadear reflexos termorreguladores na pele, na medula espinhal e no hipotálamo, mais precisamente na área pré-óptica-hipotalâmica anterior, em que neurônios sensíveis ao calor e o ao frio respondem às alterações na temperatura central e cutânea (JOHNSON *et al.*, 2014).

Assim apoia-se a explicação fisiológica para o uso da termografia infravermelha (TI), já que a resposta inflamatória gera o aumento do fluxo sanguíneo e atividade metabólica na região exercitada. Todo este processo exerce influência direta sobre a temperatura da pele, que pode ser captada pela TI (MARINS *et al.*, 2013). Uma vez que a pele possui dupla inervação autonômica, ou seja, existem nervos sensoriais noradrenérgicos e colinérgicos, com uma predominância de controle simpático em que são liberados neurotransmissores como acetilcolina e norepinefrina (KISTLER *et al.*, 1998).



Estes controlam as respostas relacionadas ao estresse térmico, como vasodilatação e vasoconstrição cutânea (HODGES *et al.*, 2009; JOHNSON *et al.*, 2014).

Tais mudanças na temperatura cutânea, oriunda de processo inflamatório provocada pelo exercício físico tem sido investigada nos últimos anos com crescente número de publicações dentro do esporte e da saúde utilizando-se da TI (PÉREZ-GUARNER *et al.*, 2019; MOREIRA *et al.*, 2017).

## **2. JUSTIFICATIVA**

Os estudos que visam analisar e monitorar a atividade do sistema nervoso autônomo utilizando a VFC e estabelecer uma relação com a TI, ainda apresentam controvérsias, mais estudos são necessários para fundamentar e dar maior robustez científica para esta relação, uma vez que existe relação de feedback direto entre o sistema nervoso autonômico simpático e o seu controle sobre o controle sobre os ajustes termorregulatórios do corpo humano. Sendo assim, diante das informações apresentadas, o presente estudo se justifica pela necessidade investigar a resposta ao estresse promovido pelo exercício físico de contração excêntrica (dano muscular) e o comportamento existente da ativação do sistema nervoso autônomo simpático e parassimpático e da termografia infravermelha.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1. SISTEMA NERVOSO AUTÔNOMO**

O sistema nervoso autônomo é o responsável pelo controle neural de diversas funções de tecidos e órgãos do corpo. Regulando a pressão arterial, o fluxo sanguíneo, a termorregulação, motilidade, secreção gastrointestinal, trato respiratório, micção e função sexual, garantindo assim a integridade física e o funcionamento fisiológico adequado de células, tecidos e órgãos, a chamada homeostase basal (BENARROCH, 2007; WEHRWEIN *et al.*, 2016).

O sistema autônomo é formado por outras três divisões anatômicas e com funcionalidades distintas, são eles, o sistema nervoso simpático, o parassimpático e o sistema entérico. Sendo que o sistema simpático e o parassimpático podem exercer suas funções de forma antagônica, sinérgica ou ainda independente (WEHRWEIN *et al.*, 2016). Essa organização funcional dependerá da variação de inervação padrão dos tecidos e órgãos efetores autônomos. Já que alguns órgãos efetores possuem inervação simpática e parassimpática, outros apenas simpática e alguns apenas parassimpática.

A divisão anatômica simpática controla respostas de “luta e fuga” durante reações de emergência e/ou exercícios extenuantes. Composto de neurônios pré-ganglionares que surgem do segmento torácico e lombar da medula espinhal fazendo sinapses com os neurônios pós-ganglionares das regiões para vertebrais e pré-vertebrais (McCORRY, 2007; ALENKOV *et al.*, 2000). Estes neurônios possuem fibras pré-ganglionares curtas e com característica colinérgica, e as fibras pós-ganglionares são longas e com característica

adrenérgica, sendo o neurotransmissor primário de neurônios pós-ganglionares a norepinefrina.

Enquanto isso, a divisão parassimpática regula respostas para funções corporais básicas, como repouso e digestão. Composto por neurônios pré-ganglionares que surgem do tronco cerebral e da região sacral da medula espinhal e neurônios pós-ganglionares encontradas próximo ou na parede dos seus órgãos-alvo, sendo que até 75% das fibras parassimpáticas são encontradas no nervo vago, o nervo craniano mais longo do corpo que possui funções importantes para a manutenção da homeostase, modulando a frequência cardíaca, pressão sanguínea, resistência vascular, respiração e outras (HANSEL *et al.*, 2008; SLOAN *et al.*, 2007). Estes neurônios possuem fibras pré-ganglionares longas e de características colinérgica e fibras pós-ganglionares curtas e também colinérgicas. Tendo como neurotransmissor dos neurônios pós-ganglionares a acetilcolina (KAREMAKER, 2017; MCCORRY, 2007).

Para que o sistema nervoso autônomo exerça seu controle sobre as funções fisiológicas corporais, os neurônios liberam neurotransmissores que iniciam as respostas em órgãos ou tecidos efetores, sendo os mais comuns as catecolaminas. Fibras nervosas colinérgicas liberam acetilcolina, são elas, as pré-ganglionares simpáticas e parassimpáticas e as pós-ganglionares parassimpáticas e as simpáticas que inervam as glândulas sudoríparas. Já as fibras nervosas adrenérgicas, são responsáveis por liberar norepinefrina, são as pós-ganglionares simpáticas em sua maioria (McCORRY, 2007; WEHRWEIN *et al.*, 2016). Células da medula adrenal, que são considerados neurônios pós-ganglionares “modificados”, ao contrário não liberam neurotransmissores, e sim

hormônios na corrente sanguínea, em que 20% dessa produção hormonal pela medula adrenal é de norepinefrina e os outros 80% é de epinefrina, que posteriormente será sintetizada em adrenalina, ocorrendo assim a produção das catecolaminas que participaram ativamente das respostas moduladas pelo sistema nervoso autônomo (WEHRWEIN *et al.*, 2016; McCORRY, 2007).

Em situações de emergência “luta ou fuga” e exercício físico, a sistema autônomo simpático é responsável por modular respostas de mudanças nas funções de órgãos e tecidos em todo o corpo, afim de aumentar o aporte de sangue oxigenado, bem como a demanda do metabolismo energético na produção de energia para trabalho dos músculos esqueléticos. Essas respostas consistem em estimulação simpática do musculo liso, com o aumento da frequência cardíaca e da contratilidade miocárdica, conseqüentemente maior volume de sangue bombeado por minuto, o que caracteriza uma vasoconstrição generalizada em que ocorre o redirecionamento de sangue dos órgãos principalmente os do trato gastrointestinal e os rins que se apresentam em menor atividade metabólica no momento, para os músculos envolvidos na contração muscular. Em conjunto ocorre a broncodilatação pulmonar, ou seja, a movimentação e demanda de ar para dentro e fora dos pulmões é acentuada, assim a frequência respiratória é aumentada (WEHRWEIN *et al.*, 2016; BENARROCH, 2007).

Os processos de glicogenólise e gliconeogênese são ampliados para fornecimento de energia metabólica para o sistema nervoso (cérebro) com o aumento das concentrações de glicose na corrente sanguínea. Ainda simultaneamente ocorre o incremento das taxas lipolíticas no tecido adiposo, logo aumento das concentrações de ácidos graxos no sangue para a produção

de energia a ser utilizada na contração. E, contudo, o aumento da sudorese durante uma atividade ou exercício extenuante também é identificado, com o objetivo de auxiliar no processo de termorregulação. Por fim pupilas dilatadas, para favorecer a entrada de luz e assim aumentar a visão a distância. Todas essas respostas acontecem concomitante e são moduladas pelo sistema simpático (BENARROCH, 2007; McCORRY, 2007).

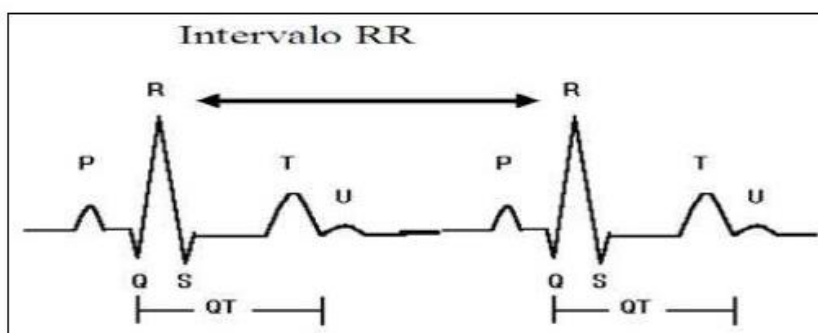
Em contrapartida, o sistema parassimpático em situações de manutenção das condições corporais básicas em repouso este desencadeia respostas para conservação de energia com a redução da frequência cardíaca. Porém ocorre o aumento da secreção salivar para facilitar a deglutição de alimentos, combinado com a estimulação acentuada da motilidade gástrica o que favorecerá o processamento de alimentos ingeridos, colaborando para maior absorção de nutrientes. Sincronicamente a secreção pancreática exócrina e endócrina para degradação química dos alimentos, bem como a liberação de insulina nas ilhotas pancreáticas promovendo o armazenamento de nutrientes, para posterior uso em energia metabólica. Este ainda modula respostas de contração da bexiga, resultando na micção. Enfim, o processo de miose, em que ocorre a contração das pupilas para adaptação à visão de perto (WEHRWEIN *et al.*, 2016; BENARROCH, 2007; MCCORRY, 2007).

### **3.2. VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA**

A modulação entre o sistema simpático e parassimpático pode ser avaliada por meio da variabilidade da frequência cardíaca (VFC). A análise da VFC consegue captar este processo porque a modulação rítmica da FC fornecida pelas atividades do simpático e do parassimpático ocorre em frequências distintas. O SNS atua no nódulo sinoatrial numa frequência mais

baixa do que a descarga vagal, pois, como explicado anteriormente, a atividade parassimpática se dá por processos mais rápidos (retardo estímulo-resposta). Estas distintas faixas de frequência permitem decompor a modulação autonômica sobre o batimento cardíaco de forma não invasiva (AUBERT e VERHEYDEN, 2008). A VFC é mensurada através dos intervalos RR que consiste nas modificações entre batimentos cardíacos consecutivos (Figura 1), em que a variação de tempo entre esses batimentos é apresentada em unidade de tempo (milissegundos) (VENTURA, 2010; ROQUE, 2009; ROSÁRIO, 2007).

Para análise dos índices da VFC em que uns estão mais propensos a refletir a atividade simpática e outros a atividade parassimpática, métodos lineares e não lineares podem ser aplicados (BUCHHEIT, 2007). Contudo os métodos lineares são comumente utilizados no domínio do tempo e no domínio da frequência (HOSHI, 2009; ROQUE, 2009; ROSÁRIO, 2007).



**Figura 1.** Representação do Intervalo RR (Fonte: Disponível em: [https://www.researchgate.net/figure/figura-1-Exemplo-de-intervalo-RR-e-a-respectiva-serie-temporal-utilizada-para-analise-da-fig\\_1\\_269673343](https://www.researchgate.net/figure/figura-1-Exemplo-de-intervalo-RR-e-a-respectiva-serie-temporal-utilizada-para-analise-da-fig_1_269673343)).

A análise no domínio do tempo é feita por meio de métodos estatísticos ou geométricos simples, que quantifica cada intervalo R – R normal em um determinado período de tempo. Este parâmetro reflete a atividade autonômica de forma global, mostrando se apresenta ou não alterações (VENTURA, 2010).

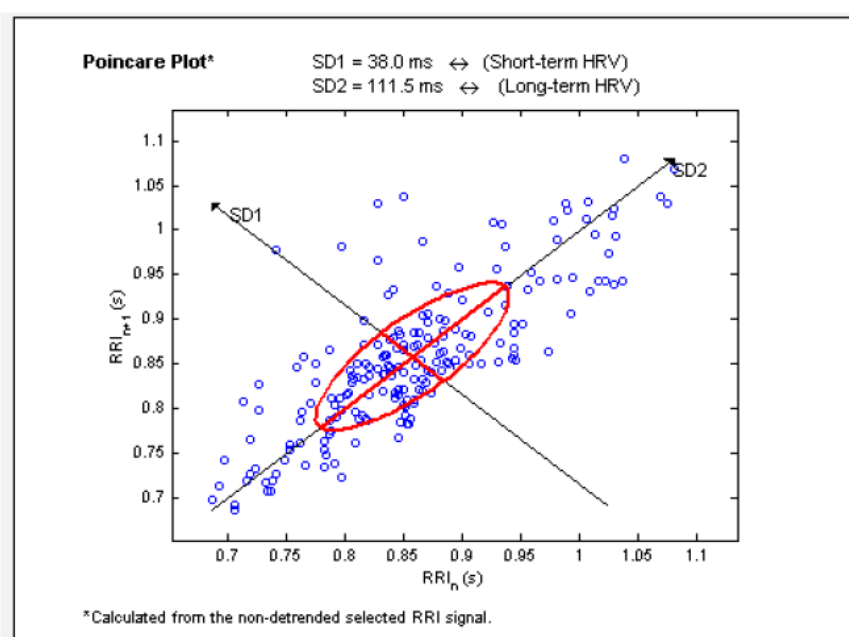
Sendo suas variáveis estatísticas, o SDNN, desvio padrão de todos dos os intervalos R – R em um período de tempo; SDANN, reflete o desvio padrão das médias dos intervalos R – R normais, a cada 5 minutos em um determinado espaço de tempo; SDNNi é a média do desvio padrão dos intervalos R – R normais a cada 5 minutos; RMSSD é a raiz quadrada da média do quadrado das diferenças entre intervalos R – R normais adjacentes, em um intervalo de tempo; pNN50 representa a porcentagem dos intervalo R – R adjacentes com diferença de duração maior que 50 ms (BUCHHEIT, 2007; VENTURA, 2010; HOSHI, 2009).

Em que os valores de SDNN, SDANN e SDNNi estão relacionadas as atividades tanto do ramo simpático quanto parassimpático, obtidos com registros de longa duração, em que não é possível diferenciar se tais alterações apresentadas na VFC são em função do aumento do tônus simpático ou retirada do tônus parassimpático. Já os valores de RMSSD e pNN50 estão associados a atividade do ramo parassimpático (VENTURA, 2010).

Para análise no domínio do tempo outra possibilidade é por meio de métodos geométricos como o índice triangular e a plotagem de Lorenz (Plot de Poincaré). Em que o primeiro, o índice triangular é calculado com base em um histograma de densidade de intervalos R – R normais, em que no eixo horizontal (X) está representado o comprimento dos intervalos e no eixo vertical (Y) a frequência com que cada um destes ocorreu (HOSHI, 2009; RAJENDRA-ACHARYA *et al.*, 2006). A junção dos pontos das colunas do histograma formado, correspondem a uma figura que se assemelha a um triângulo, em que a largura da base deste expressa a variabilidade dos intervalos R – R. Este índice possui correlação com o desvio padrão de todos os intervalos R – R, além de



não receber interferência de batimentos ectópicos ou ruídos que ocorreram durante o registro, pois ficaram fora do triângulo. Enquanto o Plot de Poincaré (Figura 2). é um método geométrico que pode ser realizado de forma qualitativa ou quantitativa, que analisa a dinâmica da VFC, representando um serie temporal em um plano cartesiano em que cada intervalo R – R está relacionado com o intervalo antecedente definindo um ponto no Plot (HOSHI, 2009; RAJENDRA-ACHARYA *et al.*, 2006).



**Figura 2.** Representação da Plotagem de Poincaré pelo Programa HRV Analysis (Fonte: CAMBRI *et al.*, 2008: pág. 04).

O outro parâmetro de método linear utilizado é o domínio da frequência, que caracteriza a densidade de potência espectral, a mais utilizada atualmente para análise em repouso. Esta análise fraciona a VFC em componentes oscilatórios fundamentais, sendo os principais HF (*High Frequency* – Componente de alta frequência) com variação de 0,15 a 0,4Hz que corresponde a modulação respiratória e indica a atividade vagal (parassimpática) sobre o coração; LF (*Low Frequency* – Componente de baixa frequência) com variação

de 0,4 a 0,15Hz que reflete a atividade conjunta dos tónus simpático e vagal sobre o coração, com predominância simpática; VLF (*Very Low Frequency* – Componente de muito baixa frequência) e ULF (*Ultra Low Frequency* – Ultrabaixa frequência) ambos relacionados ao sistema renina-angiotensina-aldosterona, a termorregulação e ao tónus vasomotor periférico, no entanto não são índices comumente utilizados, uma vez que suas explicações fisiológicas ainda não estão bem estabelecidas e apoiadas na literatura (VENTURA, 2010; HOSHI, 2009; CAMBRI *et al.*, 2008).

Uma análise importante a ser realizada utilizando o domínio da frequência é a razão ou relação LF/HF que se refere as alterações absolutas e relativas entre os tónus simpático e parassimpático do sistema nervoso autônomo, representando o balanço simpato-vagal sobre o coração, com variação de 1 e 2 para indivíduos adultos em repouso, em que quanto maior o valor expresso nesta razão, maior será a predominância simpática (VENTURA, 2010; HOSHI, 2009; CAMBRI *et al.*, 2008).

### **3.3. SISTEMA IMUNOLÓGICO**

O sistema imunológico compreende as vias principais através das quais o ser humano responde se adaptando aos desafios exógenos e endógenos. Tem sido conceitualmente dividida em imunidade inata e imunidade adaptativa. A imunidade inata representa uma resposta rápida e estereotipada a um número grande, mas limitado, de estímulos. É representada por barreiras físicas, químicas e biológicas, células especializadas e moléculas solúveis, presentes em todos os indivíduos, independentemente de contato prévio com imunógenos ou agentes agressores, e não se altera qualitativa ou quantitativamente após o contato. Em contraposição à resposta inata, a resposta imune adaptativa

depende da ativação de células especializadas, os linfócitos, e das moléculas solúveis por eles produzidas. As principais características da resposta adquirida são: especificidade e diversidade de reconhecimento, memória, especialização de resposta, autolimitação e tolerância a componentes do próprio organismo (BENARROCH, 2009; 2019).

Após o estresse, por exemplo o exercício físico, os neutrófilos é a primeira subpopulação de leucócitos a aparecer no tecido muscular estriado esquelético apresentando um acúmulo máximo 60 minutos após o exercício, podendo perdurar por até 5 dias. Nestas circunstâncias há um aumento na exportação dos neutrófilos da medula óssea para a corrente sanguínea, mediado pela ação do cortisol (TIDBALL, 2005). A principal função dos neutrófilos é a remoção, por fagocitose, dos elementos indesejáveis relacionados à lesão tecidual. Essa ação é o início para as respostas subsequentes de reparo e crescimento tecidual. Para isso os neutrófilos ativados liberam proteases lisossomais que são responsáveis pela degradação das proteínas locais. Além de formarem espécies reativas de oxigênio (EROs) como resultado da ação da enzima NADPH oxidase por meio do processo conhecido como “*burst* respiratório” e também pela ativação da enzima mieloperoxidase. A resposta mediada pelos neutrófilos deve ser aguda e muito bem regulada, a fim de preservar a integridade das células e tecidos onde o evento inflamatório está ocorrendo, e evitar a exacerbação da lesão através de um aumento na produção de EROs (TIDBALL, 2005).

Os monócitos são a segunda subpopulação de leucócitos a serem identificados no local danificado. Quando essas células saem da circulação e migram para os tecidos passam a ser chamados de macrófagos (TIDBALL, 2005). Recentemente surgiram evidências de que a função dos macrófagos que

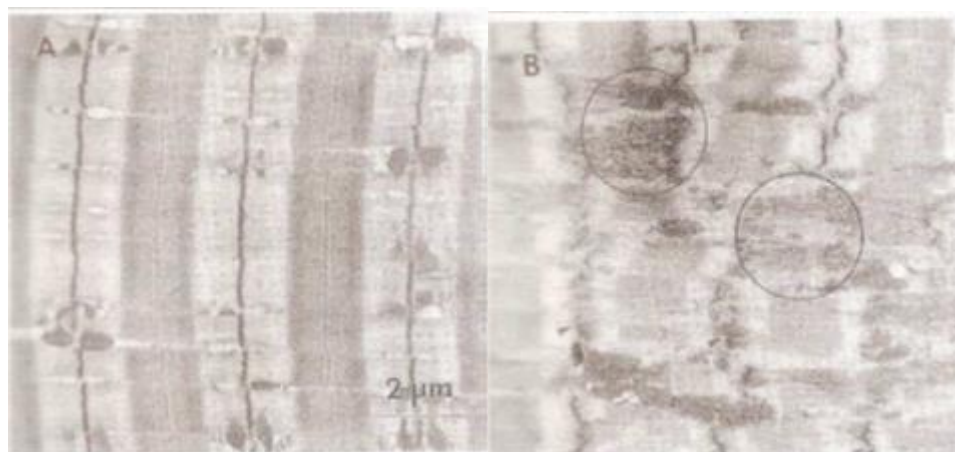
invadem precocemente o local lesionado (entre 24-48h) é diferente daqueles que aparecem mais tardiamente (entre 48-96h). Esses últimos teriam um papel mais ativo no reparo muscular, enquanto os primeiros teriam como principal função a remoção do tecido danificado (TIDBALL e WEHLINGF-HENRICKS, 2007). De fato, estudos *in vitro* e *in vivo* confirmaram que os macrófagos exercem uma função importante no reparo e crescimento do tecido lesado, provavelmente pela secreção de moléculas pró-regenerativas. Dentre essas, destacam-se alguns hormônios, como o fator de crescimento semelhante à insulina, o fator de crescimento dos fibroblastos e o TGF- $\beta$  (BUTTERFIELD *et al.*, 2006). Eles atuam no recrutamento e ativação dos fibroblastos, que secretam moléculas de colágeno, contribuindo para a regeneração tecidual. Além disso, sinalizam a ativação, proliferação e diferenciação de células-satélite musculares, importantes para a reestruturação tecidual. Os macrófagos secretam ainda diversas outras moléculas, como quimosinas e prostaglandinas, além de EROs (TIDBALL, 2005).

Essas duas subpopulações de leucócitos são responsáveis por iniciar o processo inflamatório que é uma reação ou resposta de defesa do organismo a uma infecção ou lesão dos tecidos, cujo objetivo é promover a cura ou reparo (Silva, Macedo, 2011). Sendo assim, o dano muscular está também associado a uma resposta inflamatória e a um aumento de citocinas e outros marcadores sanguíneos inflamatórios (ISPIRLIDIS *et al.*, 2008; MOHR *et al.*, 2016; SOUGLIS *et al.*, 2018).

### **3.4. DANO MUSCULAR E INFLAMAÇÃO**

Existe um consenso na literatura que o exercício impõe uma sobrecarga mecânica ao músculo esquelético gerando pequenas rupturas, principalmente

quando essas ações possuem predominância excêntrica com uma carga não habitual (PROSKE e ALLEN, 2005). Essas rupturas advindas desta sobrecarga são denominadas como micro lesões ou dano muscular (DM) (CLARKSON e HUBAL, 2002).



**Figura 3.** Rompimento do sarcômero seguido de uma contração excêntrica. A – Sarcômeros de um músculo normal demonstrando um bom alinhamento e padrão regular das bandas. B – Sarcômeros de um músculo exposto a contração excêntrica demonstrando com rompimentos na região do disco Z. (Fonte: TIDUS, 2008: p. 7).

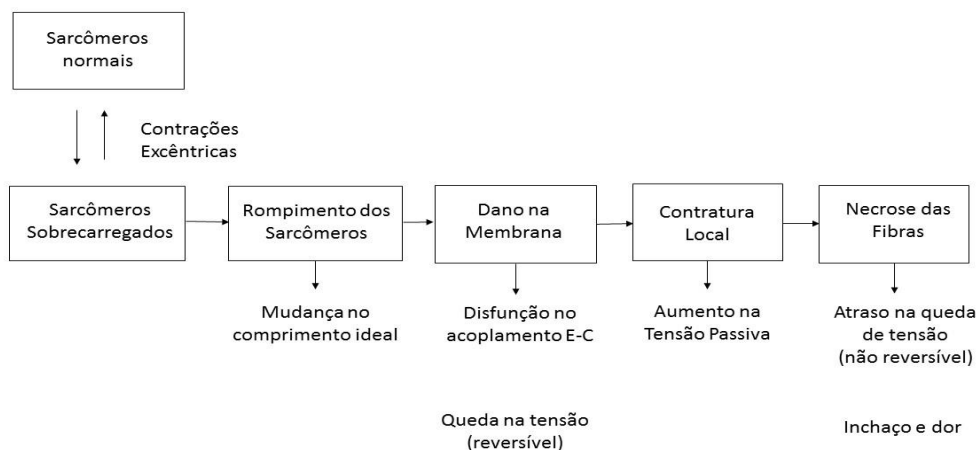
Segundo Kendall e Eston (2002), danos à fibra muscular após exercício são normalmente atribuídos à desorganização na estrutura das fibras musculares, mais especificamente à ruptura, alargamento ou prolongamento da linha Z. Mchugh (2003) caracteriza a linha Z como sendo o ponto de contato das proteínas contráteis, fornecendo suporte estrutural para a transmissão de força quando as fibras musculares são encurtadas. O DM também parece ocorrer em outros componentes celulares, como o sarcolema, os túbulos transversos e as próprias miofibrilas (FOSCHINI, PRESTES e CHARRO, 2007).

Durante as ações excêntricas, um número reduzido de unidades motoras é recrutado, quando comparado às contrações concêntricas, o que implica um

estresse mecânico elevado na fibra muscular, uma vez que a tensão por área de secção transversa ativa é maior (TRICOLLI, 2001). A literatura reporta o que explica esse fenômeno durante a contração muscular excêntrica são: a maior contribuição dos componentes elásticos musculares e aumento da sincronização das unidades motoras durante a ação excêntrica (CLARKSON e HUBAL, 2002; GABRIEL, KAMEN e FROST, 2006; BUTTERFIELD, 2010).

Proske e Morgan (2001) propuseram um modelo teórico, no qual o DM decorrente do exercício possui dois momentos, sendo um pela própria ação mecânica da contração muscular e o outro pela ativação de vias proteolíticas e processo inflamatório na célula. Em um primeiro momento, durante as séries de ações excêntricas, os sarcômeros são superestirados, iniciando dos mais fracos e progressivamente até os mais fortes. Cada vez que o músculo relaxa entre as séries, alguns sarcômeros estirados podem não se reintegrar o que resulta em seu rompimento. Assim, com o rompimento dos sarcômeros, o DM pode se estender longitudinalmente e transversalmente na fibra.

Em um segundo momento, decorrente do DM a homeostase do cálcio é alterada, permitindo o influxo desse mineral para célula. O influxo de cálcio provoca a ativação de diferentes vias moleculares no músculo. A ativação dessas vias pode iniciar a degradação das miofibrilas, o que resulta em difusão dos componentes celulares para o interstício e plasma. Essas substâncias iniciam o processo inflamatório na área de lesão, culminando em fagocitose do tecido necrosado (TRICOLLI, 2001; PROSKE e ALLEN, 2005; TIDUS, 2008).



**Figura 4.** Esquema do dano muscular seguido de contração excêntrica (Fonte: Adaptado de PROSKE, 2001: p. 334).

O processo inflamatório é seguido pelo surgimento de cinco sinais cardinais, vermelhidão, inchaço, dor, calor e perda de função (FREIRE e VAN DYKE, 2013) que por sua vez, é uma reação ou resposta de defesa do organismo a uma infecção ou lesão dos tecidos, cujo objetivo é promover o reparo e remodelamento (SILVA e MACEDO, 2011).

A persistência e percepção de dor são gerenciados por fatores biológicos, psicossociais e do sistema de movimento. Os mecanismos biológicos da dor são caracterizados em três classes, que incluem a nociceptiva (periférica), a nociplástica (não periférica) e neuropática (CHIMENTI, FREY-LAW e SLUKA, 2018).

Uma vez que a dor geralmente tem início no sistema nervoso periférico, em que os nociceptores periféricos são ativados em função de uma inflamação, irritação mecânica ou lesão, a sinalização nociceptiva ocorre da medula espinhal até o córtex por meio das vias nociceptivas ascendentes, que resultam na percepção de dor, normalmente aguda e localizada como uma entorse de

tornozelo ou DM induzido por exercícios, que pode ser aumentada ou prolongada devido a sensibilização periférica de neurônios, mesmo que não ocorra a sensibilização central (CHIMENTI, FREY-LAW e SLUKA, 2018).

Em relação ao aumento de temperatura, no exercício físico, considerado trabalho mecânico externo, a produção de calor corporal aumenta à proporção que a intensidade do exercício também aumenta. Uma parte do calor interno produzido é convertida em energia mecânica externa (BROTHERHOOD, 2008). A sensação de calor é causada pela vasodilatação cutânea com maior aporte sanguíneo, apresentando maior temperatura por ser redirecionado das áreas mais internas do tecido, que são ajustes termorregulatório autonômicos. Mudanças na temperatura cutânea, oriunda de processo inflamatório provocada pelo exercício físico tem sido investigada nos últimos anos com crescente número de publicações dentro do esporte e da saúde utilizando-se da termografia infravermelha (TI) (PÉREZ-GUARNER *et al.*, 2019; MOREIRA *et al.*, 2017).

A explicação fisiológica para o uso da TI se deve a resposta inflamatória, que gera um aumento do fluxo sanguíneo e atividade metabólica na região exercitada. Todo este processo exerce influência direta sobre a temperatura da pele, que pode ser captada pela TI (MARINS *et al.*, 2013). Entretanto, vale ressaltar, que o controle das variáveis referentes ao estresse ambiental, como temperatura, umidade relativa do ar e vento, é fundamental para a boa acurácia dos resultados termográficos, uma vez que a pele pode ganhar ou perder calor por irradiação, evaporação, convecção e condução (ZAPROUDINA *et al.*, 2008).



### 3.5. TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA

A TI é uma técnica que permite a visualização do calor irradiado do corpo através do registro de emissão infravermelha, que está em um espectro que o olho humano não consegue identificar (MARINS *et al.*, 2013). As primeiras experiências com TI aconteceram no âmbito militar, no intuito de detecção de inimigos, já em seres humanos, veio acontecer em meados do século XX, a partir disso durante o tempo a TI passou a ser utilizada em outras áreas, como construção de prédio, veterinária, indústria e mais recentemente no esporte, onde essas análises são feitas através da captação da radiação infravermelha.

A radiação infravermelha foi descoberta em 1800, por Sir William Herschel, um astrónomo inglês, quando tentava descobrir quais as cores do espectro que eram responsáveis pelo aquecimento dos objetos. No seu experimento, a luz solar passava através de um pequeno orifício aberto em um pedaço de papelão e depois por um prisma de vidro para criar um espectro visível (um arco-íris, uma divisão da luz em diferentes cores). Conforme ele media a temperatura individual das cores do violeta ao vermelho, percebeu que todas apresentavam temperaturas mais altas que a dos termômetros de controle, e que a temperatura aumentava na direção do sentido vermelho do espectro. Desta maneira, concluiu que naquela região devia haver alguma "luz invisível" que não podia ser vista, e que aquecia o termômetro, e então a nomeou de "raios caloríficos" (MENDONÇA, AMARAL e CATARINO, 2012).

Anos depois, seu filho John Frederick William Herschel, realizou experimentos sobre o espectro infravermelho e usando a radiação solar obteve com sucesso uma imagem. Esta imagem foi obtida através da focalização da radiação solar sobre uma suspensão de partículas de carbono em álcool com

auxílio de uma lente – um método conhecido como evaporgráfia - sendo essa imagem obtida chamada de "termograma", termo ainda utilizado nos dias de hoje para descrever uma imagem feita por radiação térmica (RING, 2006).

No início, o uso da câmera para diagnóstico ainda era suspeito, no entanto, com o avanço da tecnologia das câmeras e das técnicas de avaliação, seu uso tornou-se cada vez mais eficaz, sendo reconhecida como uma ferramenta diagnóstica pelo *American Medical Council* em 1987. Após isso, a termografia vem sendo utilizada por diversas associações termográficas mundiais, entre elas temos: Academia Americana de Medicina Infravermelha, Centro Norte-Norueguês de Medicina e Sociedade Alemã de Termografia (QUESADA, 2017).

Como citado no início da sessão, esta ferramenta também é aplicada no âmbito veterinário, útil para estimar o estado fisiológico dos animais em situações de estresse, fertilidade, bem-estar, metabolismo e doenças (McMANUS *et al.*, 2016). É utilizada também em fábricas nucleares, na inspeção de rotina e possíveis anormalidades nos aparelhos, sendo neste contexto segura para os funcionários realizarem a inspeção de uma distância segura de componentes radioativos ou de alta temperatura (KOURO *et al.*, 2010).

A termografia é considerada também uma ótima ferramenta para a inspeção da estrutura de prédios, avaliação do isolamento de diferentes materiais, a localização de vazamentos de água e, portanto, a umidade, são usos específicos de TI neste campo (DUROCHER *et al.*, 2009). Temos também aplicação do TI na detecção de gases industriais, utilizado para verificar se há vazamentos estruturais ou se as fábricas estão produzindo gás em excesso (MENDONÇA, AMARAL e CATARINO, 2012). Além do uso da TI em todas as

áreas supracitadas, a literatura relata o crescente uso desta ferramenta nas ciências do esporte. No entanto, para maiores esclarecimentos e aplicação desta técnica torna-se necessário o conhecimento de conceitos físicos básicos relacionados a termografia infravermelha.

### **3.6. PRINCÍPIOS FÍSICOS DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA**

Todos os objetos emitem radiação infravermelha. A intensidade da radiação emitida depende de dois fatores: da temperatura do objeto e da capacidade do objeto de emitir radiação. Os objetos acima do zero absoluto (0 K ou -273,16 °C) emitem radiação infravermelha devido a agitação térmica de átomos e moléculas dos quais são constituídos. Logo, quanto maior essa agitação, mais quente se encontra o objeto e mais radiação infravermelha ele emite (MENDONÇA, AMARAL e CATARINO, 2012).

A radiação infravermelha não necessita de meio material para transmitir energia térmica, diferenciando-se assim dos outros meios de propagação de calor. Desse modo a irradiação térmica é definida como a propagação de calor na qual a energia térmica é transmitida através de ondas eletromagnéticas, ondes os raios infravermelhos são os que apresentam efeitos térmicos com maior intensidade. Nesse sentido a lei física de Stefan-Boltzman é uma das mais importantes para compreensão desse processo de termografia, onde, segundo essa lei, a medida em que a energia térmica liberada pelo corpo aumenta, a temperatura aumenta a quarta potência (DAHMEN, 2006).

Equação de Stefan-Boltzmann:

$$P = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

P: Potência total, taxa de energia liberada por unidade de área [Wm<sup>-2</sup>];

$\epsilon$ : Emissividade;

$\sigma$ : Constante =  $5,67 \times 10^{-8}$  [WM<sup>2</sup>K<sup>-4</sup>];

A = Area da superfície do corpo irradiador.

T: Temperatura absoluta em graus [K].

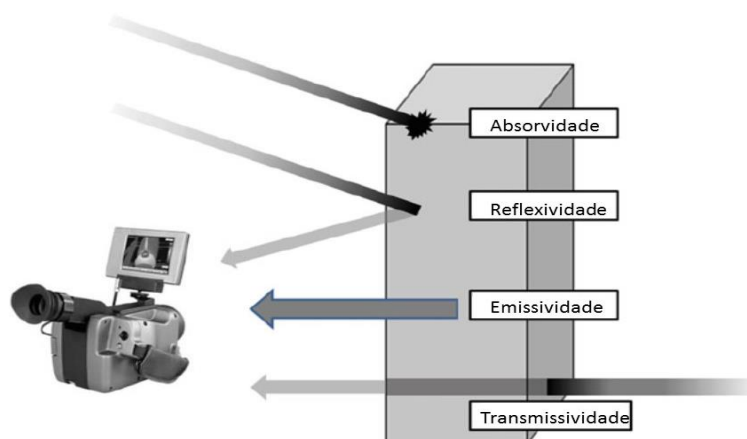
Pequenas mudanças de temperatura resultaram em grandes mudanças na potência emissiva, isso é observado através da equação de Stefan-Boltzmann porque a temperatura é expressa como a quarta potência. Essa relação é muito importante, porque explica como o cálculo da temperatura a partir do poder emissivo é muito sensível e permite a diferenciação de áreas em diferentes temperaturas, com diferentes poderes emissivos (QUESADA, 2017).

Emissividade é definida como sendo a capacidade que o material tem para radiar energia comparada com a de um “corpo negro perfeito” (o qual apresenta  $\epsilon = 1$ ). Um corpo negro perfeito é um corpo que absorve toda radiação eletromagnética incidente, e a sua absorção é igual a sua emissão, ou seja, tem ótima capacidade de radiação. Nesse sentido, conhecer a emissividade de um corpo é de vital importância (QUESADA, 2017).

A emissividade é um número que varia de 0 a 1, e pode ser interpretado como a razão entre a quantidade real de energia infravermelha emitida em comparação com a quantidade teoricamente ideal que poderia ser emitido (corpo negro). Isso significa que um objeto com um valor de emissividade de 0,7 emite apenas os 70% da quantidade teórica máxima de energia infravermelha, e os outros 30% da radiação de saída vem de outras fontes (QUESADA, 2017). Nas ciências do esporte o “material” mais utilizado é a pele, que apresenta valores de emissividade em torno de 0,97 a 0,99. Isso significa que a pele é um bom

emissor de radiação infravermelha e é possível calcular com precisão sua temperatura.

A câmera termográfica detecta a radiação infravermelha emitida pelo corpo humano ou objeto, que é invisível ao olho nu, e a transforma em termogramas visíveis. Essas câmeras termográficas são equipadas com lentes especiais que concentram a energia térmica, onde as imagens térmicas são processadas e apresentadas em um display de vídeo, enquanto ao mesmo tempo é calculada a temperatura de cada pixel (QUESADA, 2017).



**Figura 5.** Características radioativas de um corpo (Fonte: Adaptado QUESADA, 2017. pág.39).

Depois desses conceitos físicos, é possível entender melhor como as câmeras de imagem podem medir temperaturas a partir da detecção de radiação infravermelha. Além disso, saber a importância de conhecer as características radiativas de um objeto, com o objetivo de avaliar se é possível medir a sua temperatura e os possíveis erros, durante a medida.

### **3.7. TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA E CIÊNCIAS DO ESPORTE**

O uso da TI nas ciências do esporte iniciou sendo utilizado em atletas para detectar sinais de câncer de pele, câncer de mama, problemas de tireoide,

mesmo que essas alterações exigissem um diagnóstico mais preciso por parte de uma equipe médica especializada. Um estado de febre, caracterizado por registros superiores a 37,5°C, também pode ser percebido pela TI impedindo que o atleta treine fora dos níveis ideais de saúde (RING e AMMER, 2012). No entanto, recentemente, o foco das avaliações tem sido voltado para o monitoramento e prevenção de lesões nos atletas (ARNAIZ-LASTRAZ *et al.*, 2014).

A TI é uma ferramenta de enorme potencial, tanto para os atletas como para toda a equipe de profissionais que trabalham com eles, que podem receber informações detalhadas e objetivas sobre sua condição física e possíveis evidências de lesão ou sobrecarga, que quando não detectadas, podem prejudicar seu desempenho (MARINS *et al.*, 2013). Sendo essa uma das principais virtudes que apoiam o uso da termografia nos esportes.

Com um monitoramento termográfico periódico do atleta, pode ser criado um perfil térmico específico tanto do sujeito como da equipe; isto é, um "mapa" com características térmicas normais de cada região corporal de interesse (RCI), como as pernas frontal e posterior de um jogador de futebol (FERNANDES *et al.*, 2017). Desta forma, alterações térmicas caracterizadas por redução (hiporradiante: processo degenerativo) ou aumentos (hiperradiante: processo inflamatório) na superfície da pele contribuem como diagnóstico preciso de lesões mesmo que sejam assintomáticas (MAIOR *et al.*, 2017).

Considerando o conceito de proporcionalidade anatômica, espera-se que a resposta térmica entre duas partes do corpo contralateral seja simétrica, apesar que as diferenças bilaterais de 0,25 ° C a 0,62 ° C são considerados aceitáveis (ARNAIZ-LASTRAZ *et al.*, 2014). A diferença acima desses valores

pode indicar que a RCI selecionada com uma temperatura maior, em contraste com suas configurações usuais de perfil térmico, podem apresentar algum problema inflamatório.

No entanto ao realizar a avaliação através da diferença de assimetria, deve-se levar em consideração o histórico de lesões do atleta, pois de acordo com o tipo de lesão, o indivíduo pode apresentar diferença de temperaturas, mais altas ou mais baixas entre membros, mesmo estando em repouso.

### **3.8. CORRELAÇÃO TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA E VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA**

A intensidade do DM depende da tensão e do alongamento imposto ao músculo, sendo esses dois fatores considerados chave para determinar o nível de DM (TIIDUS, 2008). Com isso, as ações excêntricas presentes nos saltos pliométricos, induzem a alguns sintomas, como por exemplo, a diminuição da força muscular e da amplitude de movimento, bem como aumento dos níveis dos marcadores indiretos de dano muscular no sangue e fatores relacionados com o processo inflamatório (PROSKE e MORGAN, 2001; CLARKSON e HUBAL, 2002; ISPIRLIDIS *et al.*, 2008; KAMANDULIS *et al.*, 2012).

Dentre estes sinais cardinais inflamatórios já mencionados, o calor, ou seja, o aumento de temperatura principalmente na região cutânea, está diretamente relacionado a ativação simpática no sistema nervoso autônomo, isso porque a termorregulação cutânea é realizada por meio de diversas respostas fisiológicas que desencadeiam reflexos termorreguladores na pele, na medula espinhal e no hipotálamo, mais precisamente na área pré-óptica-hipotalâmica anterior, em que neurônios sensíveis ao calor e o ao frio respondem às alterações na temperatura central e cutânea (JOHNSON *et al.*, 2014).

Entretanto são escassos os estudos que visam analisar e monitorar a atividade do sistema nervoso autônomo e a TI, uma vez que existe relação de feedback direto entre o sistema nervoso autonômico simpático e o seu controle sobre o controle termorregulatório do corpo humano (SEIXAS e AMMER, 2019; HUGGINS e RAKOBOWCHUK, 2019).



## **4. OBJETIVO GERAL**

O objetivo deste estudo é investigar o comportamento da ativação nervosa autonômica e da termografia infravermelha após um protocolo de exercício excêntrico.

### **4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Verificar resposta parassimpática e simpática por meio da variabilidade da frequência cardíaca, domínio da frequência, após um protocolo de exercício excêntrico e nos períodos de recuperação, 24 horas, 48 horas e 72 horas.
- Verificar resposta da termografia infravermelha após um protocolo de exercício excêntrico e nos períodos de recuperação, 24 horas, 48 horas e 72 horas.
- Verificar a relação entre a resposta variabilidade da frequência cardíaca, domínio da frequência e a termografia infravermelha após um protocolo de exercício excêntrico e nos períodos de recuperação, 24 horas, 48 horas e 72 horas

## **5. HIPÓTESES**

H1: A variabilidade da frequência cardíaca e a resposta da Termografia Infravermelha podem assemelhar-se quanto ao comportamento frente ao dano muscular induzido pelo exercício.

## **6. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **6.1. CONSIDERAÇÕES ÉTICAS**

Este estudo de característica transversal, respeitou todas as normas estabelecidas pelo Conselho Nacional da Saúde (Res. 466/2012) envolvendo pesquisas com seres humanos. Todos os voluntários, ou os responsáveis, assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (APÊNDICE A) após as explicações sobre os procedimentos e possíveis riscos envolvendo a pesquisa.

Todos os dados coletados durante o andamento deste estudo foram utilizados apenas para fins de pesquisa e somente os pesquisadores envolvidos no mesmo tiveram acesso às informações. Estas precauções foram adotadas com o intuito de preservar a privacidade, a saúde e o bem-estar dos voluntários.

Este projeto foi submetido à análise do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Maranhão e foi aprovado para sua realização sob o número 3.429.057.

### **6.2. AMOSTRA**

A amostra foi composta por dez participantes do sexo masculino, fisicamente ativos com faixa etária compreendendo dos 18 aos 30 anos. Os sujeitos foram selecionados por conveniência, sendo estudantes do curso de Educação Física da UFMA, que formalizaram sua participação na pesquisa mediante a assinatura Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (APÊNDICE A).

Para caracterização da amostra foi realizada a avaliação física onde foram mensuradas massa corporal, estatura e dobras cutâneas e foi aplicado o Questionário Internacional de atividade Física (IPAQ) versão curta (MATSUDO *et al.*, 2001) (ANEXO), para avaliar o nível de atividade física dos indivíduos, onde só foram incluídos no estudo os classificados como fisicamente ativos. Os indivíduos não poderiam estar participando de um programa de treinamento físico que envolvesse saltos pliométricos a pelo menos 6 meses e deveriam apresentar boas condições de saúde. Os participantes foram orientados a não realizar nenhum tipo de exercício físico extenuante na semana anterior ao protocolo de salto e durante a semana de realização dos procedimentos.

### **6.3. DELINEAMENTO DO ESTUDO**

Após o consentimento e entendimento sobre os objetivos e métodos a serem utilizados nesta pesquisa, os voluntários compareceram ao Laboratório de Fisiologia e Prescrição do Exercício do Maranhão (LAFIPEMA), localizado no Núcleo de Esportes da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), para a realização de avaliações físicas para caracterização amostral, em seguida realizaram a familiarização com o protocolo de salto para induzir dano muscular.

A etapa experimental ocorreu no mínimo cinco dias após a realização da caracterização da amostra e da familiarização. No dia das seguintes coletas foram realizadas as análises das escalas subjetivas de recuperação e dor, avaliação termográfica e variabilidade da FC. Nos momentos referentes à recuperação ao exercício proposto, 24 horas, 48 horas e 72 horas foram realizadas novamente os procedimentos supracitados, apresentados resumidamente no Desenho do Estudo (figura 10).



**Figura 6.** Visão geral do processo de coleta do protocolo experimental.

#### 6.4. COMPOSIÇÃO CORPORAL

A composição corporal foi composta de medidas de massa corporal, estatura e dobras cutâneas. Para a realização das medidas de massa corporal e estatura foi utilizada uma balança com estadiômetro da marca (Wellmy®W300) com precisão de 0,5 centímetros para estatura e 0,05 Kg para o peso. As dobras cutâneas, subescapular, tríceps, bíceps, peitoral, subaxilar, supra ilíaca, abdominal, coxa e perna foram mensuradas utilizando-se um plicômetro da marca (Sanny®), graduado em milímetros, de acordo com o protocolo proposto por (JACKSON e POLLOCK, 1978). Os valores de cada dobra foram utilizados para a obtenção do somatório das dobras ( $\Sigma$  dobras) e estimativa do percentual de gordura através do software Inforsob® 1.0.

#### 6.5. FAMILIARIZAÇÃO

Na primeira visita, os voluntários responderam a um questionário para determinar e classifica-los de acordo com o seu nível de atividade física (IPAQ – versão curta) (MATSUDO *et al.*, 2001).

Posteriormente, foram preparados e posicionados para participarem do processo de familiarização ao protocolo do estudo.

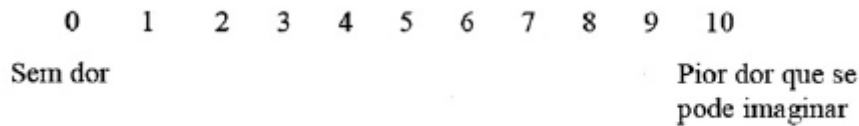
## **6.6. PROTOCOLO DE DANO MUSCULAR**

O protocolo de dano muscular utilizado foi proposto por Tofas *et al.* (2008), em que consistia em uma preparação inicial em esteira ergométrica (5 minutos a 8 km/h). Após este período os voluntários iniciaram a execução de saltos composto de 96 saltos sobre um obstáculo de 50 cm (oito series de doze repetições) e 96 saltos partindo de uma caixa com altura de 50 cm e saltando ao tocar o solo (oito series de doze repetições), com intervalo de noventa segundos entre as séries e três minutos de intervalo entre os dois tipos de saltos.

## **6.7. AVALIAÇÃO DE DOR MUSCULAR DE INÍCIO TARDIO**

A Escala Visual Analógica (EVA) adaptada de Ferreira-Valente (2011) ou escala numérica da dor (figura 7) é um instrumento importante para verificar a evolução clínica do dano muscular e consiste em medir a intensidade da dor do paciente. Comumente utilizada para analisar se o tratamento está sendo efetivo, quais procedimentos têm surtido melhores resultados, assim como se há alguma deficiência no tratamento, de acordo com o grau de aumento ou declínio da dor (FERREIRA-VALENTE, PAIS-RIBEIRO e JENSEN, 2011).

A EVA é um método subjetivo de percepção da dor tendo graduação de 0 a 10, onde 0 representa ausência de dor e 10 o máximo de dor sentida. Na presente pesquisa a mesma foi utilizada para avaliar indiretamente o dano muscular induzido pelo protocolo de exercício e foi aplicada 24, 48 e 72 horas após o exercício no grupo experimental. O indivíduo escolheu uma nota que mais se apropriava à sua percepção de dor no momento da avaliação, assim como realizados em estudos anteriores (TWIST, GLESSON e ESTON, 2008; MACALUSO *et al.*, 2012; TSENG *et al.*, 2015; ARAZI *et al.*, 2016).



**Figura 7.** Escala Visual analógica (EVA) ou Escala Numérica de Dor (Fonte: adaptado de FERREIRA-VALENTE *et al.*, 2011).

## 6.8. AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO SUBJETIVA DE RECUPERAÇÃO

A escala de percepção subjetiva de recuperação (Figura 8) é um método de avaliar o estado de recuperação subsequente de atletas e/ou indivíduos praticantes de atividade física. Esta estima indiretamente o valor real de fadiga, apresentando níveis de 0 a 10, possuindo propriedades verbais e numéricas (MORANDI *et al.*, 2020).



**Figura 8.** Escala de Percepção de Recuperação (Fonte: adaptado de MORANDI *et al.*, 2020).

## 6.9. TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA

A imagem termográfica foi feita em sala apropriada, sem luz natural, apenas artificial por meio de lâmpadas fluorescentes, sem fluxo de ar direcionado para o local da coleta. As condições de temperatura ambiente foram mantidas através de um ar-condicionado e monitoradas por um psicrômetro de umidade digital da marca EXTECH (Flir System Inc. Modelo MO297, Sweden) que registrou cerca de 24°C e umidade relativa em torno de 50% (MARINS *et al.*, 2013).

Os sujeitos foram instruídos a não realizar atividades vigorosas nas 24h antecedentes aos procedimentos, não consumir bebida alcoólica ou a base de cafeína, não fazer uso de qualquer creme para pele nas 6h antecedentes a avaliação. Para obtenção dos termogramas os voluntários permaneceram em repouso por 10 minutos dentro da sala climatizada para o equilíbrio térmico (FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2015). As imagens foram capturadas por meio da câmera FLIR T650sc (Flir System Inc. Model, Sweden) com resolução de 640 x 480 pixels, a uma distância de 2,5 metros, com emissividade de 0,98.

Para análise das frequências do número de pixels foi utilizado o método de termopixelgrafia proposto por Fernandes (2017) utilizando para análise térmica o software Apollo (Omni, Brasil). O método combina segmentação de imagem em pixels, processamento e técnicas de registro para produzir informações qualitativas e quantitativas sobre as variações espaço-temporais de imagens térmicas e suas isotérmicas. As etapas de segmentação e registro são fundamentais para melhorar a precisão das medições das imagens térmicas. Após a análise no software, foi gerada uma imagem com a frequência do número de pixels em cada faixa de temperatura e automaticamente contabilizada. As

faixas de temperatura em °C (Tabela 1) e a indicação das zonas de referência são apresentadas na figura 9.

**Tabela 1.** Zonas de temperatura do software Apollo (Omni, Brasil).

Zonas de Referência	Faixas de Temperatura ° C
Zona Fria	28-29 / 29-30 / 30-31
Zona Neutra	31-32 / 32-33
Zona Quente	33-34 / 34-35 / 35-36

**Figura 9:** Análise no programa Apollo®.



**Figure 9.** Termopixelografia (TPG) anterior (A) e posterior (B) da coxa e perna com regiões de interesse marcadas (ROI's) tomadas para análise automática em três zonas de temperatura (zona fria, neutra e quente).



## **6.10. VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA**

A VFC foi registrada com um eletrocardiograma de 12 derivações da WinCardio 6.1.1 e com sinal do Eletrocardiograma de 600Hz (Micromed Biotecnologia Ltda) na posição supina, durante 10 minutos, em repouso, com a frequência respiratória espontânea e normal (entre 9 e 22 ciclos respiratórios por minuto). Os índices foram avaliados usando o software Análise de Kubios HRV, versão 2.0 (Kubios, Finlândia) (PIRES *et al.*, 2021; DIAS-FILHO *et al.*, 2020).

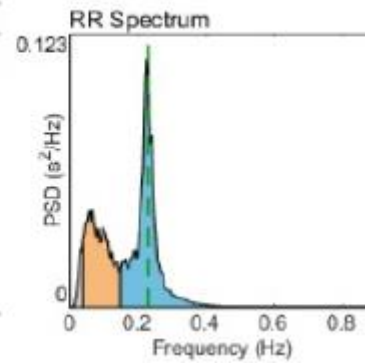
### **6.10.1. VARIABILIDADE NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA**

#### **(ANÁLISE ESPECTRAL)**

As medidas de VFC no domínio da frequência foram caracterizadas pela rápida transformação de Fourier (FFT), onde a baixa frequência (BF 0,04-0,15 Hz), alta frequência (AF, 0,15-0,4 Hz) que representam as modulações, simpático e vagal, respectivamente e o balanço autonômico (BF / AF) das séries temporais do intervalo RR foram medidas. Os conjuntos de dados batimento a batimento foram convertidos em séries temporais equidistantes antes de aplicar a FFT para calcular e analisar os espectros. O componente BF é relatado para refletir a modulação simpática e vagal, enquanto o componente AF parece ser o resultado da modulação vagal. Além disso, o componente BF/AF foi proposto como uma medida do equilíbrio simpático-vagal cardíaco (Figura 9).

Frequency-Domain Results (FFT spectrum)

Variable	Units	VLF	LF	HF
Frequency band	(Hz)	0.00-0.04	0.04-0.15	0.15-0.80
Peak frequency	(Hz)	0.040	0.067	0.227
Power	(ms <sup>2</sup> )	421	3376	5592
Power	(log)	6.042	8.124	8.629
Power	(%)	4.46	35.96	59.56
Power	(n.u.)		37.64	62.36
-----				
Total power	(ms <sup>2</sup> )	9368		
Total Power	(log)	9.147		
LF/HF ratio		0.604		
EDR	(Hz)	0.23		



**Figura 10.** Ilustração da análise no domínio da frequência (análise espectral) da VFC (Fonte: Kubios software for HRV/Download Scientific Diagram).

## 6.11. ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise dos dados foi realizada através do programa estatístico *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) versão 24.0. O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para verificar os pressupostos de normalidade das variáveis. Como as variáveis apresentaram distribuição não normal, para efetuar a comparação das variáveis nos momentos basal, 24h pós, 48h pós e 72h pós, foi utilizado o modelo *Generalized Estimating Equations* (GEE) (BALLINGER, 2004). Com base nos valores de Índice de Aderência *Quase Information Criterion* (QIC), o modelo foi ajustado para a distribuição Gama, sendo esta utilizada para os testes estatísticos no GEE. Tempo e grupo foram considerados como fatores independentes de efeito fixo e o post hoc de Bonferroni foi utilizado quando necessário. O nível de significância adotado foi de  $p < 0,05$ .

Para verificar o tamanho do efeito foi utilizado o teste Cohen-d para mensurar as variáveis e os momentos. Para interpretação foi utilizado a classificação de acordo com Cohen (1998) modificado por Hopkins (2020), trivial = 0.0–0.2; pequeno = 0.2–0.6; moderado = 0.6–1.2; grande = 1.2–2.0; muito

grande = 2.0–4.0; e extremamente grande >4.0. Para a construção dos gráficos foi utilizado o programa *GraphPad® Prisma* 9.0 (San Diego, CA, EUA).

## 7. RESULTADOS

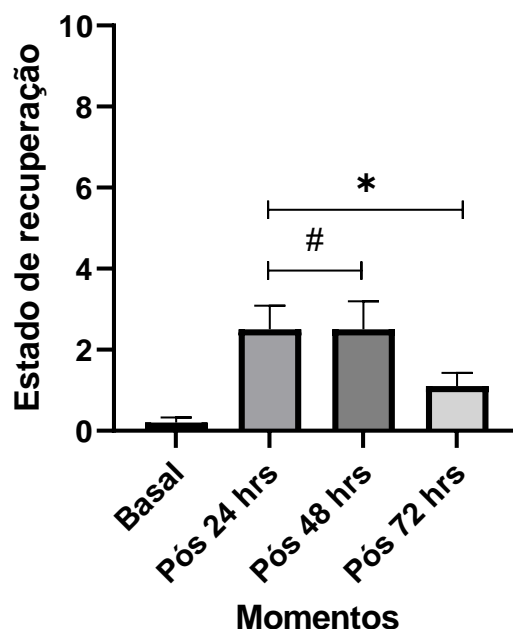
Na tabela 2, estão descritas as características antropométricas do grupo amostral. Apresentados em média e desvio padrão.

**Tabela 2.** Características descritivas antropométricas da amostra.

Variáveis	Grupo
Idade em anos (n=10)	22,0 ±3,0
Massa Corporal em kg (n=10)	71,7 ±11,0
Estatura em cm (n=10)	171,1 ±5,3
Massa Gorda em % (n=10)	15,5 ±4,7
Massa Magra em % (n=10)	84,4 ±4,7

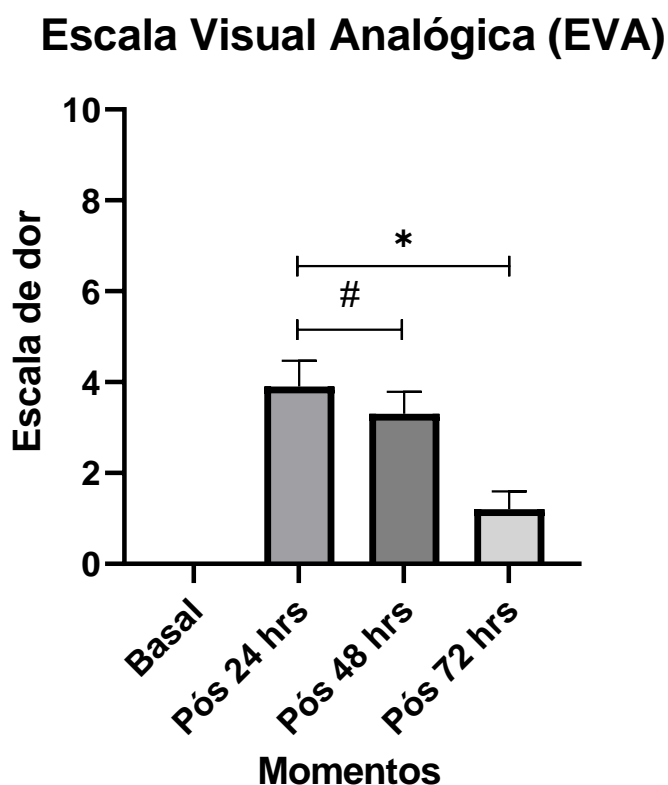
A medida de PSR dos sujeitos apresentou aumento significativo nos momentos 24, 48h e 72h em relação ao momento basal após o protocolo de dano muscular, com redução no momento 72h ( $p=0,003$ ), como apresentados na figura 10.

### Percepção Subjetiva de Recuperação (PSR)



**Figura 11.** Resultados da Percepção Subjetiva de Recuperação – PSR nos momentos Basal, 24h, 48h e 72h. (\* diferença significativa basal – 24h,  $p=0,000$ ; diferença significativa basal – 48h,  $p=0,000$ ; diferença significativa basal – 72h,  $p=0,003$ . (# diferença significativa 24h-72h,  $p=0,005$ ; diferença significativa 48h-72h,  $p=0,020$ ).

Para as medidas de escala visual analógica (figura 12), que reflete a sensação de dor relatada pelos sujeitos, houve um aumento significativo nos momentos de 24h, 48h e 72h ( $p=0,000$ ;  $p=0,000$ ;  $p=0,002$ , respectivamente) comparados com o basal e nos momentos 24h e 48h comparado ao momento 72h ( $p=0,000$  e  $p=0,000$ ) após protocolo de dano muscular.



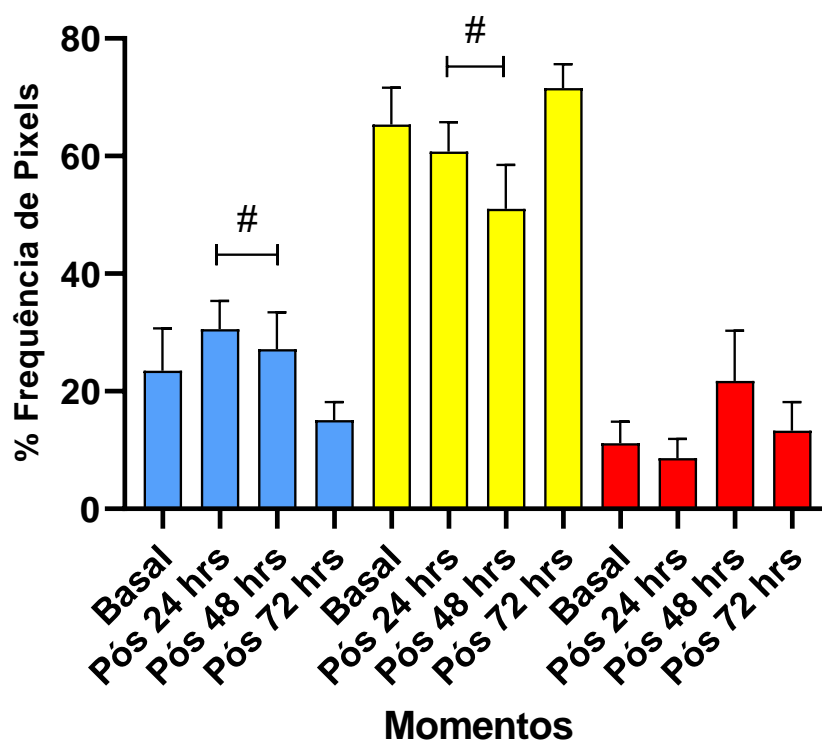
**Figura 12.** Resultados da Escala Visual Analógica – EVA nos momentos Basal, 24h, 48h e 72h. (\* diferença significativa basal – 24h,  $p=0,000$ ; diferença significativa basal – 48h,  $p=0,000$ ; diferença significativa basal – 72h,  $p=0,002$ . (# diferença significativa 24h-72h,  $p=0,000$ ; diferença significativa 48h-72h,  $p=0,000$ ).

Na análise da temperatura irradiada da pele, por meio da termografia infravermelha (Figura 13, 14, 15 e 16), os resultados são apresentados em distribuição de pixels de uma determinada região de interesse (RCI).

Na figura 13 está representando os números de pixels distribuídos em zona fria (cor azul), zona neutra (cor amarelo) e zona quente (cor vermelho) da região anterior da coxa.

Podemos verificar que houve uma concentração menor do número de pixels na zona fria (cor azul) no momento pós 72h em comparação aos momentos 24h e 48h pós analisados ( $p=0,001$  e  $p=0,035$ ). Em contrapartida houve um aumento no número de pixels da zona neutra no momento pós 72h em comparação aos momentos 24h e 48h pós ( $p=0,035$  e  $p=0,001$ ). Já na zona quente não ocorreu diferença estatisticamente significativa nos momentos analisados, porém foi apresentado também um tamanho de efeito muito grande para o momento basal vs 48h pós ( $TE=2,9$ ).

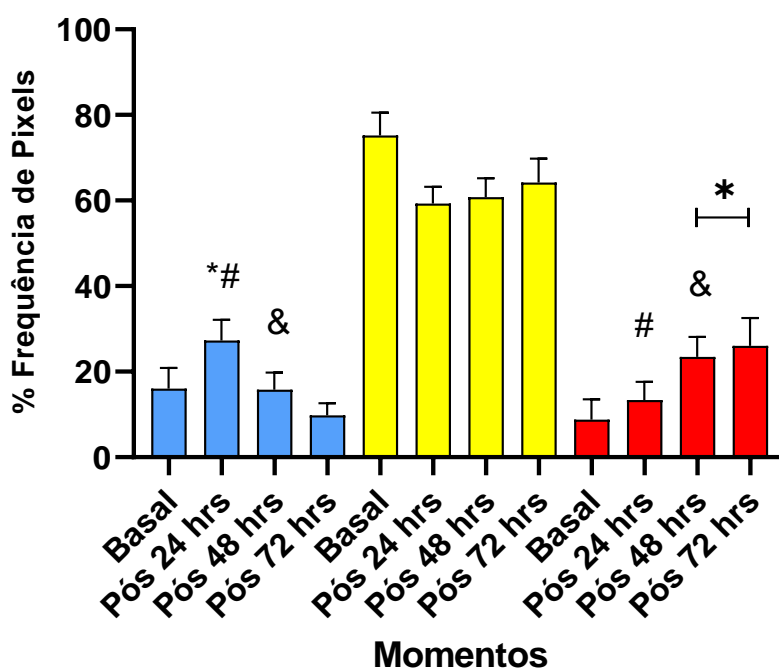
### Distribuição de pixels na coxa da região anterior



**Figura 13.** Resultados da distribuição de pixels em zonas fria, neutra e quente da região anterior da coxa, pela Termografia Infravermelha nos momentos Basal, 24h, 48h e 72h. (Zona fria: # diferença significativa 24h-72h,  $p=0,001$ ; diferença significativa 48h-72h,  $p=0,035$ ). (Zona neutra: # diferença significativa 24h-72h,  $p=0,035$ ; diferença significativa 48h-72h,  $p=0,001$ ).

Para os resultados da TI na região posterior da coxa (figura 14), houve uma maior concentração do número de pixels na zona fria (cor azul) no momento pós 24h em comparação aos momentos basal, 48h e 72h pós analisados ( $p=0,034$ ,  $p=0,017$  e  $p=0,000$ , respectivamente). Também foi apresentado um tamanho de efeito muito grande para o momento basal vs 24h pós ( $TE=2,3$ ). Na zona neutra não foi encontrado diferença significativa entre os momentos. Já na zona quente (cor vermelha) houve uma maior concentração de pixels quando comparados o momento basal e os momentos 48h e 72h ( $p=0,006$  e  $p=0,003$ ) e quando comparado o momento 24h pós com os momentos 48h e 72h ( $p=0,045$  e  $p=0,003$ ). Além disso foi encontrado um tamanho de efeito muito grande para os momentos basal vs 48h pós ( $TE=3,1$ ) e basal vs 72h pós ( $TE=3,6$ ).

### Distribuição de pixels na coxa da região posterior



**Figura 14.** Resultados da Distribuição de Pixels em zonas fria, neutra e quente da região posterior da coxa, pela Termografia Infravermelha nos momentos Basal, 24h, 48h e 72h. (Zona fria: \* diferença significativa basal – 24h,  $p=0,034$ ; # diferença significativa 24h-72h,  $p=0,000$ ; & diferença significativa 24h-48h,  $p=0,017$ ). (Zona quente: \* diferença significativa basal – 48h e basal – 72 h,  $p=0,006$  e  $p=0,003$ , respectivamente; # diferença significativa 24h-72h,  $p=0,003$ ; & diferença significativa 48h-72h,  $p=0,045$ ).

**Tabela 3.** Resultado do tamanho de efeito para as zonas de distribuição de pixels da coxa.

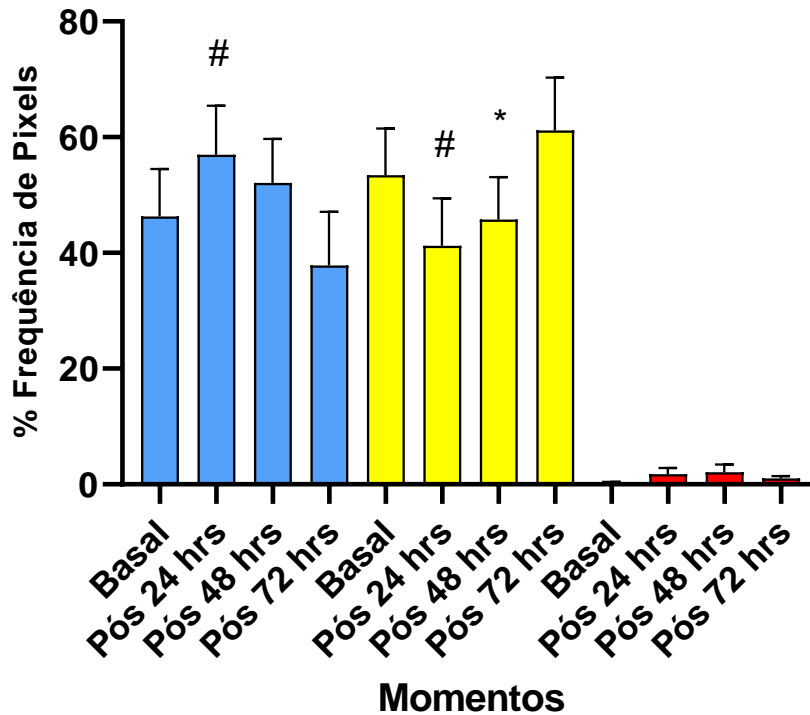
Zonas	Basal vs 24 h	Basal vs 48 h	Basal vs 72 h
Zona fria Coxa Anterior	1,0	0,5	-1,2
Zona neutra Coxa Anterior	-0,7	-2,3	1,0
Zona quente Coxa Anterior	-0,7	2,9	0,6
Zona fria Coxa Posterior	2,3	-0,1	-1,3
Zona neutra Coxa Posterior	-3,0	-2,7	-2,1
Zona quente Coxa Posterior	1,0	3,1	3,6

Cohen's thresholds (1998) modified by Hopkins (2020), as trivial = 0.0–0.2; small = 0.2–0.6; moderate = 0.6–1.2; large = 1.2–2.0; very large = 2.0–4.0; and extremely large >4.0.

A distribuição de pixels na região anterior da perna (figura 15), apresentou diferença significativa entre momento 24h e 7h pós ( $p=0,000$ ) para a zona fria. Foi apresentado também um tamanho de efeito grande para o momento basal vs 24h pós ( $TE=1,3$ ). Na zona neutra houve diferenças significativas para os momentos basal e 48h pós ( $p=0,039$ ) e 24h e 72h pós ( $p=0,000$ ). Já a zona quente não apresentou diferenças, porém foi apresentado um tamanho de efeito extremamente grande para os momentos basal vs 24h pós ( $TE=9,5$ ), basal vs 48h pós ( $TE=12,1$ ) e basal vs 72h pós ( $TE=4,6$ ).



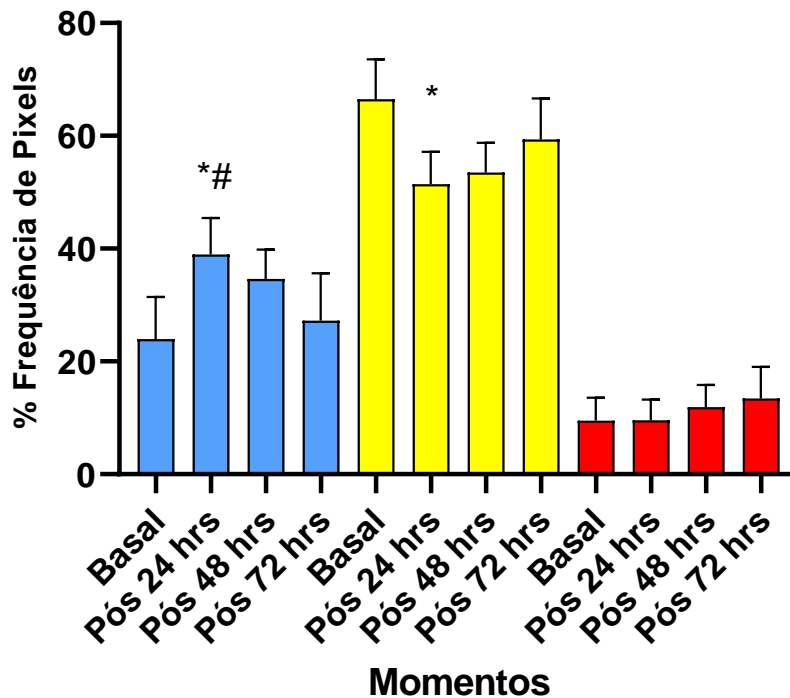
## Distribuição de pixels na perna da região anterior



**Figura 15.** Resultados da Distribuição de Pixels em zonas fria, neutra e quente da região anterior da perna, pela Termografia Infravermelha nos momentos Basal, 24h, 48h e 72h. (Zona fria: # diferença significativa 24h-72h,  $p=0,000$ ). (Zona neutra: \* diferença significativa basal – 48h,  $p=0,039$ ; # diferença significativa 24h-72h,  $p=0,000$ ).

Para a região posterior da perna (figura 16), a distribuição de pixels apresentou diferença significativa entre momento basal e 24h pós ( $p=0,027$ ) e 24h e 72h pós ( $p=0,002$ ) para a zona fria. Além disso foi apresentado um tamanho de efeito grande para os momentos basal vs 24h pós ( $TE=2,0$ ) e basal vs 48h pós ( $TE=1,4$ ). Na zona neutra houve diferenças significativas para o momento basal e 24h pós ( $p=0,038$ ). Já a zona quente não apresentou diferenças.

## Distribuição de pixels na perna da região posterior



**Figura 16.** Resultados da Distribuição de Pixels em zonas fria, neutra e quente da região posterior da perna, pela Termografia Infravermelha nos momentos Basal, 24h, 48h e 72h. (Zona fria: \* diferença significativa basal – 24h,  $p=0,027$ ; # diferença significativa 24h-72h,  $p=0,002$ ). (Zona neutra: \* diferença significativa basal – 24h,  $p=0,038$ ).

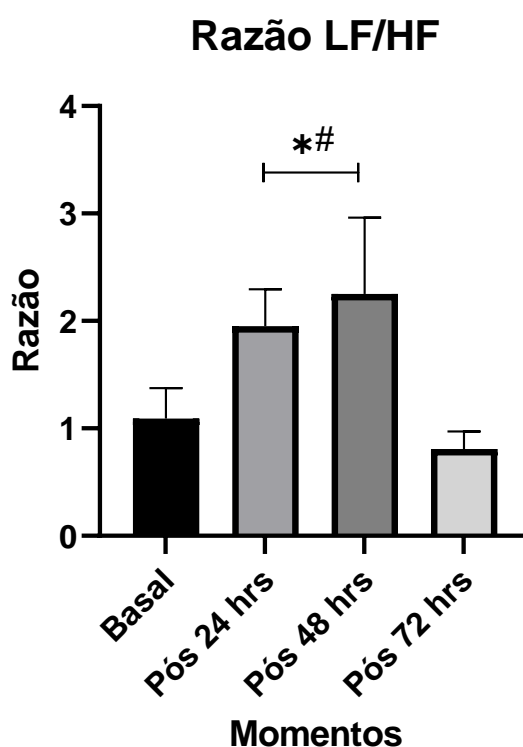
**Tabela 4.** Resultado do tamanho de efeito para as zonas de distribuição de pixels da perna.

Zonas	Basal vs 24 h	Basal vs 48 h	Basal vs 72 h
Zona fria Perna Anterior	1,3	0,7	-1,0
Zona neutra Perna Anterior	-1,5	-0,9	1,0
Zona quente Perna Anterior	9,5	12,1	4,6
Zona fria Perna Posterior	2,0	1,4	0,4
Zona neutra Perna Posterior	-2,1	-1,8	-1,0
Zona quente Perna Posterior	0,0	0,6	1,0

Cohen's thresholds (1998) modified by Hopkins (2020), as trivial = 0.0–0.2; small = 0.2–0.6; moderate = 0.6–1.2; large = 1.2–2.0; very large = 2.0–4.0; and extremely large >4.0.

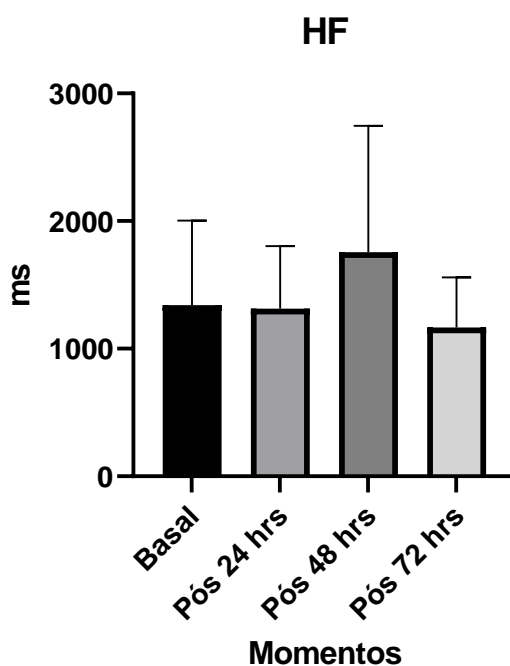
As medidas de VFC no domínio da frequência foram analisados os índices de baixa frequência (ms e percentuais), alta frequência (ms e percentuais), valores totais e razão LF/HF.

Para a análise da razão entre os índices *HF – High Frequency* e *LF – Low Frequency* que correspondem as alterações absolutas e relativas das atividades do tônus simpático e vagal do SNA, houve diferenças entre os momentos basal e 24h ( $p=0,000$ ) e basal e 48h ( $p=0,011$ ), e ainda entre os momentos 24h e 72h ( $p=0,000$ ) e 48h e 72 h ( $p=0,013$ ), demonstrados na figura 17. Foi apresentado um tamanho de efeito muito grande para os momentos basal vs 24h pós (TE=3,0) e basal vs 48h pós (TE=4,1).



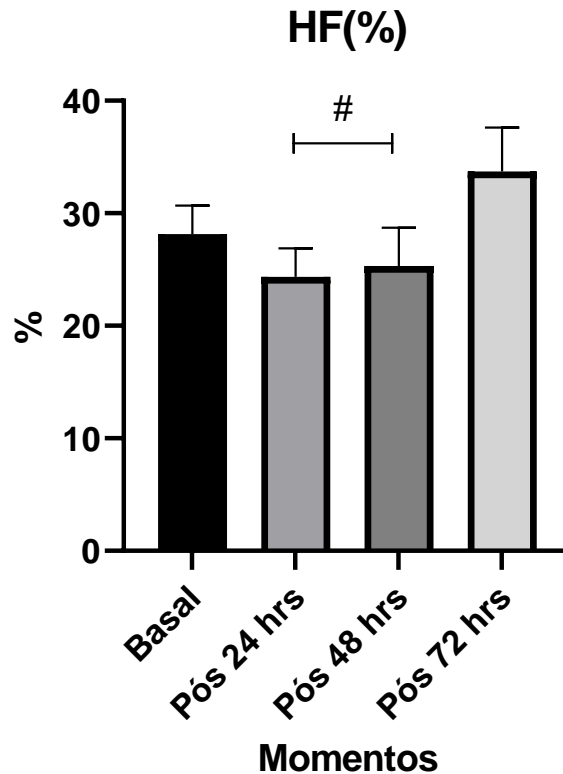
**Figura 17.** Resultados da Razão LF/HF da VFC no domínio da frequência (análise espectral) nos momentos Basal, 24h, 48h e 72h. (\* diferença significativa basal – 24h e basal - 48h,  $p=0,000$  e  $p=0,011$ ; # diferença significativa 24h-72h e 48h – 72h,  $p=0,002$  e  $p=0,013$ ).

Quanto aos resultados da VFC para análise separadamente dos índices no domínio da frequência, analisados nos diferentes momentos basal, 24, 48 e 72h. Para o índice *HF – High Frequency*, (alta frequência) (figura 18) que corresponde a modulação respiratória e ao tônus da atividade vagal sobre o coração, não apresentou diferenças estatísticas em valores absolutos, entre os momentos analisados.



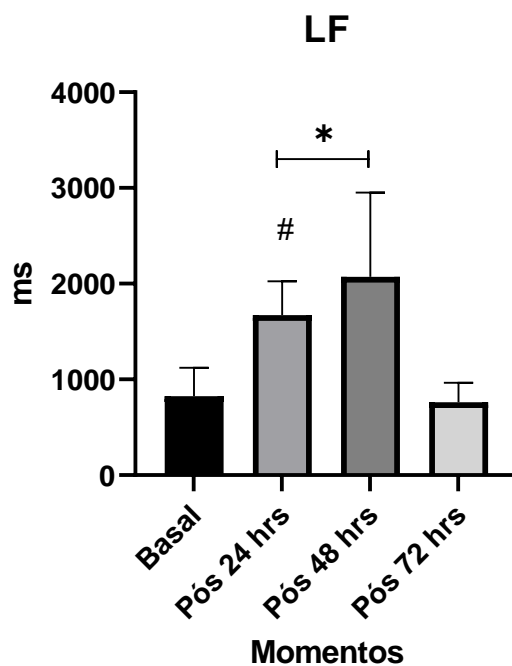
**Figura 18.** Resultados absolutos da VFC no domínio da frequência – High Frequency (análise espectral) nos momentos Basal, 24h, 48h e 72h. Sem diferenças significativas.

Para os valores relativos da VFC no domínio da frequência nos momentos de análise, identificamos no %HF uma diminuição significativa no momento 24h ( $p=0,016$ ) e o momento 48h ( $p=0,015$ ) comparado com o momento 72h após protocolo de dano muscular (Figura 19). Também foi apresentado um tamanho de efeito muito grande para o momento basal vs 72h pós ( $TE=2,2$ ).



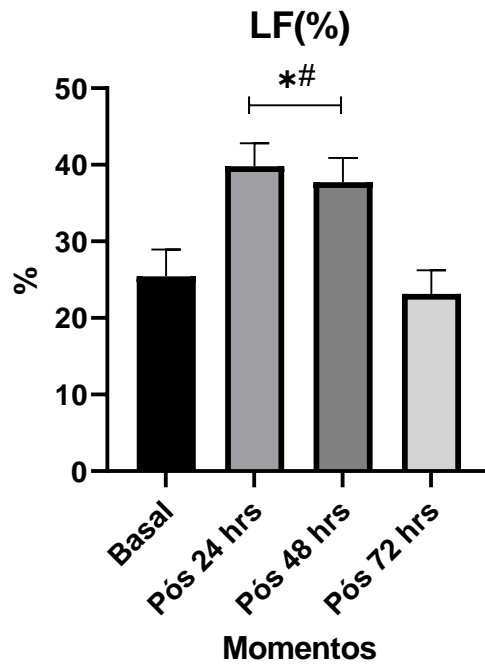
**Figura 19.** Resultados relativos da VFC no domínio da frequência – High Frequency (análise espectral) nos momentos Basal, 24h, 48h e 72h. (# diferença significativa 24h-72h e 48h – 72h,  $p=0,016$  e  $p=0,015$ ).

Já o índice *LF* – *Low Frequency* (baixa frequência) (figura 20), que reflete a atividade conjunta do componente simpático e parassimpático, com predominância simpática, apresentou valores significativos nos momentos basal e 24h ( $p=0,000$ ), basal e 48h ( $p=0,045$ ) e nos momentos 24h pós e 72h pós ( $p=0,001$ ). Além disso foi apresentado um tamanho de efeito muito grande para o momento basal vs 24h pós ( $TE=2,9$ ) e extremamente grande para o momento basal vs 48h pós ( $TE=4,2$ ).



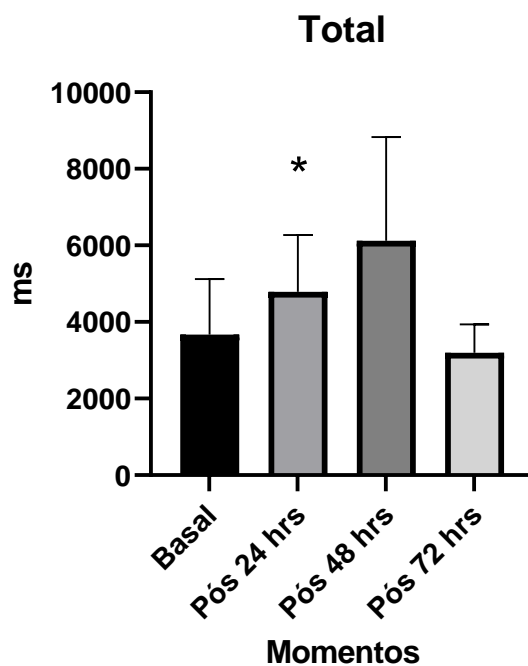
**Figura 20.** Resultados absolutos da VFC no domínio da frequência – Low Frequency (análise espectral) nos momentos Basal, 24h, 48h e 72h. (\* diferença significativa basal – 24h e basal - 48h,  $p=0,000$  e  $p=0,045$ ; # diferença significativa 24h-72h,  $p=0,001$ )

Para os valores percentuais do índice LF, houve diferença estatística entre as análises do momento basal, quando comparado com após 24h ( $p=0,000$ ) e com pós 48h ( $p=0,001$ ). Bem como, diferença entre os momentos 24h e 72h pós protocolo ( $p=0,002$ ). E ainda valores significativos quando comparado os momentos 48h e 72h ( $p=0,004$ ), apresentados na figura 21. Também foi apresentado um tamanho de efeito extremamente grande para os momentos basal vs 24h pós (TE=4,1) e muito grande para o momento basal vs 48h pós (TE=3,5).



**Figura 21.** Resultados relativos da VFC no domínio da frequência (análise espectral) nos momentos Basal, 24h, 48h e 72h. (\* diferença significativa basal – 24h e basal - 48h,  $p=0,000$  e  $p=0,001$ ; # diferença significativa 24h-72h e 48h – 72h,  $p=0,002$  e  $p=0,004$ ).

Nas análises da VFC no domínio da frequência em números total em milissegundos, apresentados na figura 22 foi encontrado valores significativos entre os momentos basal e 24h pós ( $p=0,013$ ). E foi apresentado um tamanho de efeito grande para o momento basal vs 48h pós ( $TE=1,7$ ).



**Figura 22.** Resultado total em milissegundos da VFC no domínio da frequência (análise espectral) nos momentos Basal, 24h, 48h e 72h. (\* diferença significativa basal – 24h,  $p=0,013$ ).

**Tabela 5.** Resultado do tamanho de efeito para as medidas de VFC no domínio da frequência.

Índices	Basal vs 24 h	Basal vs 48 h	Basal vs 72 h
Razão LF-HF	3,0	4,1	-1,0
HF	-0,0	0,6	-0,3
%_HF	-1,5	-1,1	2,2
LF	2,9	4,2	-0,2
%_LF	4,1	3,5	-0,7
Total	0,8	1,7	-0,3

Cohen's thresholds (1998) modified by Hopkins (2020), as trivial = 0.0–0.2; small = 0.2–0.6; moderate = 0.6–1.2; large = 1.2–2.0; very large = 2.0–4.0; and extremely large >4.0.



## 9. DISCUSSÃO

O objetivo deste estudo foi investigar o comportamento da ativação nervosa autonômica e da termografia infravermelha após um protocolo de exercício excêntrico. A literatura relata que ações musculares excêntricas, tais como realizadas durante os saltos pliométricos, provocam dano muscular, (MARKOVIC *et al.*, 2007; KAMANDULIS *et al.*, 2012; CHELLY *et al.*, 2015; ARAZI *et al.*, 2016; BERTON *et al.*, 2018; PEÑAILILLO *et al.*, 2020) sendo acompanhado por um processo inflamatório de reparo, que gera um aumento de fluxo sanguíneo e atividade metabólica na região exercitada. Esse estresse fisiológico pode ser mensurado pela avaliação de sinais cardinais de inflamação, no caso do presente estudo utilizou-se a EVA para avaliar a dor e a termografia infravermelha para avaliar o calor. O estresse ou a dor podem causar depressão do tônus parassimpático/vagal e aumento da atividade simpática e redução da VFC devido ao aumento correspondente na atividade do HPA (STEWART *et al.*, 2008).

O aumento da EVA nos momentos 24 horas e 48 horas após protocolo excêntrico, utilizado está de acordo com o encontrado nos estudos anteriores que avaliaram marcadores indiretos de dano muscular e demanda metabólica após exercício excêntrico (PEÑAILILLO *et al.*, 2020; ARAZI *et al.*, 2016; KAMANDULIS *et al.*, 2012; MARKOVIC *et al.*, 2007). Peñailillo *et al.* (2020) verificaram que os valores para a EVA se apresentaram aumentados nos momentos 48 horas e 72 horas em jovens após ciclismo excêntrico. Já nos estudos de Arazi *et al.* (2016), Kamandulis *et al.* (2012) e Markovic *et al.* (2007) que utilizaram o protocolo de saltos pliométricos, os valores de EVA atingiram o pico de concentração em 24h, mantendo-se elevado até 48 horas e retornando

próximo a valores basais em 72 horas, comportamento semelhante comportamento semelhante ao presente estudo.

Assim como a EVA outros métodos têm sido utilizados com frequência nos esportes para quantificar e controlar as cargas internas de treinamento (CLARKSON e HUBAL, 2002; BRANCACCIO, LIPPI e MAFFULLI, 2010; CHATZINIKOLAOU *et al.*, 2010). A TI ganhou notoriedade nas ciências esportivas por detectar de forma não invasiva e segura as mudanças da temperatura da pele, que podem ser facilmente relacionadas com danos musculares induzidos por exercício e com a dor de início tardio (AL-NAKHLI *et al.*, 2012; FERNANDES *et al.*, 2017; GÓMEZ-CARMONA *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2021).

O dano muscular gerado acarretou uma alteração da distribuição dos pixels nas três zonas (fria, neutra e quente) de temperatura utilizada pela termografia infravermelha. Após a queda inicial da temperatura, verificada pelo aumento na quantidade de pixels da zona fria nas 24h pós o protocolo de exercício, ocorreu um aumento da temperatura principalmente na RCI do posterior de coxa, em que houve maior concentrações de pixels na zona quente nos momentos 48 horas e 72 horas, quando comparados com momento pré protocolo de exercício excêntrico.

Em um estudo transversal e prospectivo, Gómez-Carmona *et al.* (2020) acompanharam vinte e quatro jogadores de futebol da primeira divisão espanhola, em que o principal objetivo foi utilizar a TI como método para reduzir a incidência de lesões musculares na pré-temporada com a implementação de um programa de prevenção baseando-se nas análises da TI. Os resultados do deste estudo, mostrou que as incidências diminuíram de 15 lesões na pré-

temporada para 6 lesões na segunda pré-temporada. Além disso, a gravidade das lesões também diminuirá, demonstrando que a TI é um método eficaz na prevenção e identificação de lesões pela equipe técnica e médica, possibilitando maior disponibilidade dos atletas na preparação e para as competições.

Semelhante ao presente estudo Silva *et al.* (2021), avaliaram a temperatura da pele, DMIT e limiar de dor de pressão em 22 sujeitos fisicamente ativos, sendo 12 mulheres e 10 homens no exercício de agachamento. Foram realizadas análises pré, pós exercício e pós 48h para o músculo do quadríceps. Para as respostas da TI os resultados foram dependentes do sexo, em que as mulheres experimentaram aumentos na temperatura mínima da pele no momento pós 48 horas e os homens aumentos na temperatura média e máxima no momento pós exercício.

Fernandes *et al.* (2017), examinaram as respostas da temperatura da pele de dez atletas da categoria sub-20 de futebol em duas partidas consecutivas com três dias de intervalo entre elas, para as RCI analisadas da região anterior e posterior da coxa e da perna, identificaram o aumento da temperatura no momento 24 horas após a primeira partida e a redução da temperatura no momento 48 horas após, bem como os achados no momento pré jogo. Já nas análises da segunda partida os valores para a temperatura da pele foram ainda maiores do que os relatados após a primeira partida, e não houve redução desses valores pós 48 horas, o que indica assim uma resposta inflamatória que parece não ser resolvida, tendo em vista que o intervalo entre as partidas foi de apenas 72h.

Porém no estudo realizado por Stewart *et al.* (2020), em que oito homens treinados recreativamente foram avaliados após protocolo indutor de dano

muscular para a TI e DMIT, apresentaram elevação da temperatura da pele na região anterior da coxa no momento 24 horas, o que pode ser devido a intensidade do exercício utilizado nesse estudo. Além disso, estes não encontraram diferença entre o momento 24 horas e 48 horas para essa RCI.

A análise da temperatura cutânea verificada por meio da termografia infravermelha tem uma relação com a modulação nervosa simpática. O aumento da zona fria nas 24h pós o protocolo pode ser decorrente do aumento de catecolaminas provocando um aumento da atividade simpática. A medida que o tempo passa ocorre um aumento da vascularização da pele e as trocas de calor pela regulação da perfusão da pele (SEIXA e AMMER, 2019). Com isso é possível verificar alterações na atividade nervosa autônoma simpática e parassimpática.

A modulação nervosa autonômica é normalmente monitorada por meio da variabilidade da frequência cardíaca (VFC), com índices no domínio da frequência e no domínio do tempo, ferramenta útil para análises complementares de intervenções clínicas não farmacológicas como programas de exercícios físicos (CATAI *et al.*, 2019).

A VFC corresponde as variações nos intervalos R-R consecutivos, que podem ser avaliados quantitativamente por meio da análise espectral, no índice do domínio da frequência, em que os componentes LF e HF são capazes de estimar as atividades cardíacas vagais e simpáticas. A confiabilidade desse índice espectral, assim como a relação entre eles LF/HF é bastante utilizada como marcador de interação autonômica tanto em repouso quanto em exercício (PERINI e VEICSTEINAS, 2003; NG *et al.*, 2009).

Tais interações entre os ramos simpáticos e parassimpáticos atuam quase que concomitante, embora ocorra uma clara predominância simpática seguida da retirada parassimpática durante o exercício (GRONWALD, 2019). Análises dos valores absolutos de VFC no domínio do tempo (SDNN, RMSSD) e da frequência (LF, HF, LF/HF) demonstram que o exercício físico pode reduzir a variabilidade mesmo em intensidades baixas e moderadas.

No presente estudo identificamos diferenças significativas nos valores para %HF no momento 72 horas após o protocolo, este índice reflete a recuperação da modulação vagal do SNA. Outro achado deste estudo, foi o aumento valores apresentados para %LF nos momentos 24h e 48h pós, que representa modulação combinada simpática e vagal. Assim supomos que a recuperação ocorreu no momento 72 horas pós exercício, devido principalmente a uma reativação vagal, o que já é previsto para indivíduos fisicamente ativos.

Bentley *et al.* (2020), ao avaliar como o treinamento de resistência a longo prazo afeta o padrão da VFC, comparando atletas e indivíduos fisicamente ativos de meia-idade. Foram realizadas medidas em repouso e imediatamente após exercício máximo para análises no domínio do tempo e da frequência (LF, HF e HF/LF). Encontrou um aumento para os valores de HF e LF para o grupo de atletas em comparação aos indivíduos ativos, enquanto para a razão LF/HF não foi diferente entre grupos. Esses achados sugerem uma modulação parassimpática aumentada em atletas após treinamento de resistência, o que favoreceria a recuperação pós-exercício.

No estudo de Michael *et al.* (2016), foram avaliados doze indivíduos do sexo masculino fisicamente ativos, objetivando investigar o efeito de três intensidades de exercício submáximo (baixa, moderada e alta) nas medidas de

curto prazo da VFC no domínio do tempo e da frequência, durante o exercício e na recuperação imediata. Os achados mostraram que as medidas de LF e HF foram significativamente maiores na intensidade baixa em comparação com a moderada e alta. Além disso, no primeiro minuto de recuperação foram observadas diferenças significativas na VFC para as diferentes intensidades de exercício, em que a maior intensidade empregada no exercício anterior, resultou em menor VFC para o índice HF. Logo, podemos inferir que as medidas de VFC são dependes da intensidade. E ainda o grau de retirada vagal e estimulação simpática também dependerá da intensidade empregada no exercício anterior.

O exercício físico é considerado como agente estressor, por isso devemos levar em consideração a duração, a modalidade e a intensidade como fatores que podem modificar as respostas da VFC, sendo esta última o principal fator influenciador da VFC (MICHAEL *et al.*, 2017; 2018). No decorrer do exercício ocorre o equilíbrio com a mudança do controle parassimpático predominante em repouso e em baixas intensidades, para a predominância do controle simpático em intensidades moderadas e altas. Assim, ao interpretar essas medidas espectrais que refletem a modulação vagal, pode-se dizer que exista um limiar de dominação simpática ao invés de um limiar de retirada vagal (NG *et al.*, 2009; MICHAEL *et al.*, 2017).

Alansare *et al.* (2018), compararam os efeitos do treinamento intervalado de alta intensidade de curta duração (HIIT) e do treinamento contínuo em intensidade moderada (TCIM) sobre a VFC de indivíduos fisicamente inativos. Para os resultados relatados de LF/HF houve uma melhora apenas no grupo que realizou o HIIT, sem apresentar melhoras significativas nesses índices quando analisados separadamente. Assumindo que a intensidade do exercício

desempenha papel essencial sobre respostas simpáticas e parassimpáticas. Sendo assim, tais mudanças positivas no índice HF, encontradas no grupo HIIT que não foram obtidas no grupo TCIM, mesmo não sendo significativas sugerem que as alterações na relação LF/HF, podem estar associadas principalmente a uma melhora na modulação vagal (HF).

Em estudo recente, Sillero-Quintana *et al.* (2022) relatam a relação da ativação dos sistemas simpático e parassimpático com a temperatura da pele dos membros inferiores após protocolo de exercício de resistência, com medidas PRÉ, PÓS e PÓS-20. Foram observadas variações significativas na temperatura da pele, com reduções também significativas no momento PÓS exercício para as regiões em que houve menor atividade muscular, considerando que as regiões com maior atividade muscular requerem maior fluxo sanguíneo para redução da temperatura desses músculos ativos, uma vez que produção de calor destes está aumentada durante o exercício. Além disso, é sabido que imediatamente após o exercício o aumento do fluxo sanguíneo e taxa de sudorese aumentam para facilitar a dissipação de calor dos músculos ativos, o que responderiam os aumentos relatados no PÓS-20 de recuperação.

Os achados de atividade simpática e parassimpática no estudo de Sillero-Quintana *et al.* (2022), apresentou valores médios para níveis de ativação classificados de 0 a 1,00, que foram de 0,55 e 0,42 de ativação simpática e parassimpática, respectivamente no PRÉ para 0,61 e 0,36 no PÓS, o que caracterizaria uma maior atividade simpática ocasionado pelo exercício proposto. A variabilidade de valores e inversa relação entre índices simpáticos e parassimpáticos, levou a divisão da amostra em dois grupos – Inferior (Baixa) e superior (alta) ativação simpática – em que o grupo de ativação inferior

apresentou maiores variações na temperatura para as regiões mais exercitadas no PÓS e PÓS-20. Bem como, para os valores de variação total da temperatura o grupo inferior obteve valores significativos, resultando em maiores variações de temperatura que o grupo de ativação superior. O que parece que sujeitos com ativação simpática inferior iniciam o exercício em condições vasculares diferentes, ocasionando uma resposta de ativação simpática pós exercício mais forte para esse grupo. Levando a concluir que o nível de ativação simpática afeta a resposta térmica cutânea, podendo ser utilizado como preditor de alterações na temperatura da pele.

De acordo com os achados deste estudo a termografia e a VFC no domínio da frequência parecem ter comportamento semelhante, ou ao menos similaridades quanto a respostas fisiológicas frente ao dano muscular induzido por exercício excêntrico. Uma de nossas limitações, talvez tenha sido o controle sobre a intensidade do exercício empregado, ou ainda o número de amostrados, para estudos futuros pode-se considerar avaliar se existe e como se dá essa relação direta utilizando e correlacionando as respostas fisiológicas da temperatura da pele e modulação autonômica por meio de outros métodos, ou ainda estabelecendo outras relações afim de elucidar possíveis resultados controversos.



## **10. CONCLUSÃO**

Nosso estudo objetivou descrever o comportamento da temperatura irradiada da pele pela TI, assim como a participação autonômica pela VFC no domínio da frequência frente ao protocolo indutor de dano muscular. Os resultados encontrados reafirmam que estes métodos podem prever os efeitos do exercício excêntrico sobre respostas fisiológicas de controle térmico da pele e da modulação autonômica simpática e parassimpática, como forma de monitoramento para recuperação e possíveis desgastes e lesões musculares.

## REFERÊNCIAS

AL-NAKHLI, HANI H.; PETROFSKY, JERROLD S.; LAYMON, MICHAEL S.; *et al.* The use of thermal infra-red imaging to detect delayed onset muscle soreness. **Journal of Visualized Experiments**, v. 59, 2012.

ALANSARE, ABDULLAH; ALFORD, KEN; LEE, SUKHO; *et al.* The effects of high-intensity interval training vs. moderate-intensity continuous training on heart rate variability in physically inactive adults. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, n. 7, p. 1508, 2018.

ALVES, G. J.; PALERMO-NETO, J. Neuroimunomodulação: sobre o diálogo entre os sistemas nervoso e imune. **Revista Brasileira de Psiquiatria**, v. 29, n. 4, p. 363–369, 2007.

ANDERSSON, Ulf.; TRACEY, K. J. Neural reflexes in inflammation and immunity. **Journal of Experimental Medicine**, v. 209, n. 6, p. 1057–1068, 2012.

AUBERT, A., VERHEYDEN, B. Neurocardiology: A bridge between the brain and the heart. **Biofeedback**, v. 36, n. 1, p. 15-17, 2008.

ARNAIZ-LASTRAS, J.; FERNÁNDEZ-CUEVAS, I.; LÓPEZ-DÍAZ, C.; GÓMEZ-CARMONA, P. Aplicación práctica de la termografía infrarroja en el fútbol profesional. **Futbolpf: Revista de Preparacion física en el Fútbol**, n. 13, p. 6-15, 2014.

ARAZI, H.; ESTON, R.; ASADI, A.; ROOZBEH, B.; SAATI ZAREI, A. Type of ground surface during plyometric training affects the severity of exercise-induced muscle damage. **Sports**, v. 4, n. 1, p. 15, 2016.

BENARROCH, E. E. The autonomic nervous system. **CONTINUUM: Lifelong Learning in Neurology**, v. 13, n. 6, p. 13–32, 2007.

BENARROCH, E. E. Autonomic-mediated immunomodulation and potential clinical relevance. **Neurology**, v. 73, n. 3, p. 236–242, 2009.

BENARROCH, E. E. Autonomic nervous system and neuroimmune interactions. **Neurology**, v. 92, n. 8, p. 377–385, 2019.

BERTON, R.; LIXANDRÃO, M. E.; PINTO E SILVA, C. M.; TRICOLI, V. Effects of weightlifting exercise, traditional resistance and plyometric training on countermovement jump performance: a meta-analysis. **Journal of sports sciences**. v. 36, n. 18, p. 2038-2044, 2018.

BENTLEY, ROBERT F.; VECCHIARELLI, EMILY; BANKS, LAURA; *et al.* Heart rate variability and recovery following maximal exercise in endurance athletes and physically active individuals. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 45, n. 10, p. 1138–1144, 2020.

BRANCACCIO, P.; LIPPI, G.; MAFFULLI, N. Biochemical markers of muscular damage. **Clinical Chemistry and Laboratory Medicine**, v. 48, n. 6, p. 757-767, 2010.

BROTHERHOOD, John R. Heat stress and strain in exercise and sport. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 11, n. 1, p. 6–19, 2008.

BUCHHEIT, M.; PAPELIER, Y.; LAURSEN, P. B.; *et al.* Noninvasive assessment of cardiac parasympathetic function: postexercise heart rate recovery or heart rate variability? **American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology**, v. 293, n. 1, p. H8–H10, 2007.

BUTTERFIELD, T. A.; BEST, T. M.; MERRICK, M. A. The dual roles of neutrophils and macrophages in inflammation: a critical balance between tissue damage and repair. **Journal of athletic training**, v. 41, n. 4, p. 457–65, 2006.

CAMBRI, L. T.; FRONCHETTI, L.; OLIVEIRA, F. R.; GEVAERD, M. S. Variabilidade da frequência cardíaca e controle metabólico. **Arq Sanny Pesquisa Saúde**, v. 1, n. 1, p. 72-82, 2008.

CATAI, APARECIDA; PASTRE, CARLOS; FERNADES DE GODOY, MOACIR; *et al.* Heart rate variability: are you using it properly? Standardisation checklist of procedures. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 24, p. 91-102, 2020.

CLARKSON, P. M.; HUBAL, M. J. Exercise-induced muscle damage in humans. **American journal of physical medicine & rehabilitation**, v. 81, n. 11, p. S52-S69, 2002.

CHATZINIKOLAOU, A.; FATOUROS, I. G.; GOURGOULIS, V.; AVLONITI, A.; JAMURTAS, A. Z.; NIKOLAIDIS, M. G.; DOURODOS, I.; MICHAILIDIS, Y.; BENEKA, A.; MALLIOU, P.; TOFAS, T.; GEORGIADIS, I.; MANDALIDIS, D.; TAXILDARIS, K. Time course of changes in **performance and inflammatory responses after acute plyometric exercise**. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 24, n. 5, p. 1389-1398, 2010.

CHELLY, M. S.; GHENEM, M. A.; ABID, K.; HERMASSI, S.; TABKA, Z.; SHEPHARD, R. J. Effects of in-season short-term plyometric training program on sprint and jump performance of young male track athletes. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 29, n. 8, p. 2128-2136, 2015.

CHIMENTI, R.L; FREY-LAW, L.A.; SLUKA, K.A. A Mechanism-Based Approach to Physical Therapist Management of Pain. **Phys Ther**, may 1;98(5):302-314, 2018

DAHMEN, S. R. A obra de Boltzmann em Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, p. 281-295, 2006.

DA SILVA, WILLIAN; MACHADO, ÁLVARO SOSA; LEMOS, ANDRESSA LEMES; *et al.* Relationship between exercise-induced muscle soreness, pain thresholds, and skin temperature in men and women. **Journal of Thermal Biology**, v. 100, p. 103051, 2021.

DUROCHER, A.; ESCOURBIAC, F.; RICHOUE, M.; VIGNAL, N.; MEROLA, M.; RICCARDI, B.; CANTONE, V.; CONSTANS, S. Infrared thermography inspection of the ITER vertical target qualification prototypes manufactured by European industry using SATIR. **Fusion Engineering and Design**, v. 84, n. 2-6, p. 314-318, 2009.

ELENKOV, I. J.; WILDER, R. L.; CHROUSOS, G. P.; *et al.* The sympathetic nerve--an integrative interface between two supersystems: the brain and the immune system. **Pharmacological Reviews**, v. 52, n. 4, p. 595–638, 2000.

- FARMER, A. D; ALBU-SODA, A.; AZIZ, Q. Vagus nerve stimulation in clinical practice. **British Journal of Hospital Medicine**, v. 77, n. 11, p. 645–651, 2016.
- FERNANDES, A. A.; PIMENTA, E. M.; MOREIRA, D. G.; MARINS, J. C. B.; GARCIA, E. S. Application of infrared thermography in the assessment of muscle damage in elite soccer athletes. **MOJ Orthop Rheumatol**, v. 8, n. 5, p. 328, 2017.
- FERNÁNDEZ-CUEVAS, I.; MARINS, J. C. B.; LASTRAS, J. A.; CARMONA, P. M. G.; CANO, S. P.; GARCÍA-CONCEPCIÓN, M. Á.; SILLERO-QUINTANA, M. Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review. **Infrared Physics & Technology**, v. 71, p. 28-55, 2015.
- FERREIRA-VALENTE, M. A.; PAIS-RIBEIRO, J. L.; JENSEN, M. P. Validity of four pain intensity rating scales. **Pain@**, v. 152, n. 10, p. 2399-2404, 2011.
- FILHO, Dias. Cardiac autonomic modulation of adolescents with different levels of sleep quality. **Sleep Sci**, v. 13, n. 4, p. 224–229, 2020.
- FOSCHINI, D.; PRESTES, J.; CHARRO, M. A. Relação entre exercício físico, dano muscular e dor muscular de início tardio. **Revista brasileira de cineantropometria e desempenho humano**, v. 9, n. 1, p. 101-106, 2007.
- FREIRE, M. O.; VAN DYKE, T. E. Natural resolution of inflammation. **Periodontology 2000**, v. 63, n. 1, p. 149–164, 2013.
- GABRIEL, D. A.; KAMEN, G.; FROST, G. Neural adaptations to resistive exercise. **Sports Medicine**, v. 36, n. 2, p. 133-149, 2006.
- GÓMEZ-CARMONA, PEDRO; FERNÁNDEZ-CUEVAS, ISMAEL; SILLERO-QUINTANA, MANUEL; *et al.* Infrared thermography protocol on reducing the incidence of soccer injuries. **Journal of Sport Rehabilitation**, v. 29, n. 8, p. 1222–1227, 2020.
- GRONWALD, THOMAS; HOOS, OLAF. Correlation properties of heart rate variability during endurance exercise: A systematic review. **Annals of Noninvasive Electrocardiology**, v. 25, n. 1, 2019.
- HAENSEL, A.; MILLS, P. J.; NELESEN, R. A.; *et al.* The relationship between heart rate variability and inflammatory markers in cardiovascular diseases. **Psychoneuroendocrinology**, v. 33, n. 10, p. 1305–1312, 2008.
- HODGES, G. J.; JOHNSON, J. M. Adrenergic control of the human cutaneous circulation. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 34, n. 5, p. 829–839, 2009.
- HOSHI, R. A. **Variabilidade da frequência cardíaca como ferramenta de análise da função autonômica: revisão de literatura e comparação do comportamento autonômico e metabólico em recuperação pós-exercício**. 65 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2009.
- HUGGINS, J.; RAKOBOWCHUK, M. Utility of lacrimal caruncle infrared thermography when monitoring alterations in autonomic activity in healthy humans. **European Journal of Applied Physiology**, v. 119, n. 2, p. 531–538, 2019.

- HUSKISSON, E.C. Measurement of pain. **Lancet**. v. 2, n. 7889, p.1127-31, 1974.
- ISPIRLIDIS, I., FATOUROS, I. G., JAMURTAS, A. Z., NIKOLAIDIS, M. G., MICHAILIDIS, I., DOUROUDOS, I.; MARGONIS, K.; CHATZINIKOLAOU, A.; KALISTRATOS, E.; KATRABASAS, I.; ALEXIOU, V.; TAXILDARIS, K.; Time-course of changes in inflammatory and performance responses following a soccer game. **Clinical Journal of Sport Medicine**, v. 18, n. 5, p. 423-431, 2008.
- JACKSON, A. S.; POLLOCK, M. L. Generalized equations for predicting body density of men. **British journal of nutrition**, v. 40, n. 3, p. 497-504, 1978.
- JOHNSON, J. M.; MINSON, C. T.; KELLOGG, D. L. Cutaneous vasodilator and vasoconstrictor mechanisms in temperature regulation. **Comprehensive Physiology**, v. 4, p. 33–89, 2014.
- KAMANDULIS, S.; SNIECKUS, A.; VENCKUNAS, T.; AAGAARD, P.; MASIULIS, N.; SKURVYDAS, A. Rapid increase in training load affects markers of skeletal muscle damage and mechanical performance. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 26, n. 11, p. 2953-2961, 2012.
- KAREMAKER, J. M. An introduction into autonomic nervous function. **Physiological Measurement**, v. 38, n. 5, p. R89–R118, 2017.
- KENDALL, B.; ESTON, R. Exercise-induced muscle damage and the potential protective role of estrogen. **Sports medicine**, v. 32, n. 2, p. 103-123, 2002.
- KOURO, S., MALINOWSKI, M., GOPAKUMAR, K., POU, J., FRANQUELO, L. G., WU, B.; RODRIGUEZ, J.; PEREZ, M. A.; LEON, J. I. Recent advances and industrial applications of multilevel converters. **IEEE Transactions on industrial electronics**, v. 57, n. 8, p. 2553-2580, 2010.
- KISTLER, A.; MARIAUZOULS, C.; VON BERLEPSCH, K. Fingertip temperature as an indicator for sympathetic responses. **International Journal of Psychophysiology**, v. 29, n. 1, p. 35–41, 1998.
- MADDEN, K. S.; FELTEN, S. Y.; FELTEN, D. L.; *et al.* Sympathetic nervous system modulation of the immune system. II. Induction of lymphocyte proliferation and migration in vivo by chemical sympathectomy. **Journal of Neuroimmunology**, v. 49, n. 1-2, p. 67–75, 1994.
- MACALUSO, F; ISAACS, A. W.; MYBURGH, K. H. Preferential type II muscle fiber damage from plyometric exercise. **Journal of athletic training**, v. 47, n. 4, p. 414-420, 2012.
- MAIOR, A. S.; LEPORACE, G.; TANNURE, M.; MAROCOLO, M. Profile of infrared thermography in elite soccer players. **Motriz: Revista de Educação Física**, v. 23, n. 2, 2017.
- MARINS, J.; FERNÁNDEZ-CUEVAS, I.; ARNAIZ LASTRAS, J.; FERNANDES, A. A.; SILLERO QUINTANA, M. Applications of infrared thermography in sports. A review. **International Journal of Medicine and Science of Physical Activity and Sport**, in press, v. 15, n. 60, p. 805-824, 2013.
- MARINS, J.; CUEVAS, I.; ARNAIZ-LASTRAS, J. **Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte**, 2014.

MARKOVIC, G.; JUKIC, I.; MILANOVIC, D.; METIKOS, D. Effects of sprint and plyometric training on muscle function and athletic performance. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 21, n. 2, p. 543, 2007.

MATSUDO, S.; ARAÚJO, T.; MATSUDO, V.; ANDRADE, D.; ANDRADE, E.; OLIVEIRA, L. C.; BRAGGION, G. Questionário internacional de atividade física (IPAQ): estudo de validade e reprodutibilidade no Brasil. **Rev. Bras. Ativ. Saude**, v.6, n.2, p.5-18, 2001.

MCHUGH, M. P. Recent advances in the understanding of the repeated bout effect: the protective effect against muscle damage from a single bout of eccentric exercise. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, v. 13, n. 2, p. 88-97, 2003.

MCCORRY, L. K. Physiology of the Autonomic Nervous System. **American Journal of Pharmaceutical Education**, v. 71, n. 4, p. 78, 2007.

MCMANUS, C., TANURE, C. B., PERIPOLLI, V., SEIXAS, L., FISCHER, V., GABBI, A. M., MENEGASSI, S. R. O.; STUMPF, M. T.; KOLLING, G. J.; DIAS, E.; COSTA JR, J. B. G, *Concepta et al.* Infrared thermography in animal production: An overview. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 123, p. 10-16, 2016.

MENDONÇA, L. V., AMARAL, M., CATARINO, P. Termografia por infravermelhos como ferramenta para auxílio à inspeção e manutenção dos edifícios. 2012.

MICHAEL, SCOTT; GRAHAM, KENNETH S.; DAVIS, G. M. Cardiac autonomic responses during exercise and post-exercise recovery using heart rate variability and systolic time intervals - A Review. **Frontiers in Physiology**, v. 8, 2017.

MICHAEL, SCOTT; JAY, OLLIE; GRAHAM, KENNETH S.; *et al.* Influence of exercise modality on cardiac parasympathetic and sympathetic indices during post-exercise recovery. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 21, n. 10, p. 1079–1084, 2018.

MICHAEL, SCOTT; JAY, OLLIE; HALAKI, MARK; *et al.* Submaximal exercise intensity modulates acute post-exercise heart rate variability. **European Journal of Applied Physiology**, v. 116, n. 4, p. 697–706, 2016.

MOREIRA, D. G.; COSTELLO, J. T.; BRITO, C. J.; *et al.* Thermographic imaging in sports and exercise medicine: A Delphi study and consensus statement on the measurement of human skin temperature. **Journal of Thermal Biology**, v. 69, p. 155–162, 2017.

MOHR, M.; DRAGANIDIS, D.; CHATZINIKOLAOU, A.; BARBERO-ALVAREZ, J.C; CASTAGNA, C.; DOUROUDOS, I.; AVLONITI, A.; MARGELI, A.; PAPASSOTIRIOU, I.; FLOURIS, A.D.; JAMURTAS, A.Z.; KRUSTRUP, P.; FATOUROS, I.G. Muscle damage, inflammatory, immune and performance responses to three football games in 1 week in competitive male players. **Eur J Appl Physiol** 116: 179–193, 2016.

- NG, JASON; SUNDARAM, SRI; KADISH, ALAN H.; *et al.* Autonomic effects on the spectral analysis of heart rate variability after exercise. **American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology**, v. 297, n. 4, p. H1421–H1428, 2009.
- PAVLOV, V. A.; CHAVAN, S. S.; TRACEY, K. J. Molecular and functional neuroscience in immunity. **Annual Review of Immunology**, v. 36, n. 1, p. 783–812, 2018.
- PÉREZ-GUARNER, A.; PRIEGO-QUESADA, J. I.; OFICIAL-CASADO, F.; *et al.* Association between physiological stress and skin temperature response after a half marathon. **Physiological Measurement**, v. 40, n. 3, p. 034009, 2019.
- PENAILILLO, L.; AEDO, C.; CARTAGENA, M.; CONTRERAS, A.; REYES, A, RAMIREZ-CAMPILLO, R.; EARP, J. E.; ZBINDEN-FONCEA, H. Effects of eccentric cycling performed at long vs. short muscle lengths on heart rate, rate perceived effort, and muscle damage markers. **J Strength Cond Res**, 000–000, 2018.
- PERINI, R.; VEICSTEINAS, A. Heart rate variability and autonomic activity at rest and during exercise in various physiological conditions. **European Journal of Applied Physiology**, v. 90, n. 3-4, p. 317–325, 2003.
- PIRES, F. O.; PINTO, L. M.; COSTA, ARAÚJO, H.; *et al.* Cardiac autonomic modulation response and functional capacity in older women. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 27, n. 2, p. 129–133, 2021.
- TIDU, P. M. Skeletal muscle damage and repair. **Human Kinetics, Champaign**, 2008.
- PROSKE, U.; MORGAN, D. L. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. **The Journal of physiology**. v. 537, n. 2, p. 333-345, 2001.
- PROSKE, U.; ALLEN, T. J. Damage to skeletal muscle from eccentric exercise. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v. 33, n. 2, p. 98–104, 2005.
- QUESADA, J. I. P. **Application of Infrared Thermography in Sports Science**. Springer, 2017.
- RAJENDRA ACHARYA, U.; PAUL JOSEPH, K.; KANNATHAL, N.; *et al.* Heart rate variability: a review. **Medical & Biological Engineering & Computing**, v. 44, n. 12, p. 1031–1051, 2006.
- ROQUE, J. M. A. Variabilidade da frequência cardíaca, Faculdade de ciências do esporte e educação física – Universidade de Coimbra, 2009.
- ROSÁRIO, F. J. R. Análise da variabilidade da frequência cardíaca em nadadores de elevado rendimento competitivo numa época desportiva. Disponível em: [estudogeral.sib.uc.pt](http://estudogeral.sib.uc.pt). Dissertação de Mestrado, 2007.
- RING, E. F. The historical development of thermometry and thermal imaging in medicine. **J Med Eng Technol**, v. 30, n. 4, p. 192-198, 2006.
- RING, E. F. J.; AMMER, K. Infrared thermal imaging in medicine. **Physiological measurement**, v. 33, n. 3, p. R33, 2012.

SEIXAS, A.; AMMER, K. Utility of infrared thermography when monitoring autonomic activity. **European Journal of Applied Physiology**, v. 119, n. 6, p. 1455–1457, 2019.

SHIELDS, R. W. Functional anatomy of the autonomic nervous system. **Journal of Clinical Neurophysiology**, v. 10, n. 1, p. 2–13, 1993.

SILLERO-QUINTANA, M.; FERNÁNDEZ-JAÉN, T.; FERNÁNDEZ-CUEVAS, I.; *et al.* Infrared thermography as a support tool for screening and early diagnosis in emergencies. **Journal of Medical Imaging and Health Informatics**, v. 5, n. 6, p. 1223–1228, 2015.

SILLERO-QUINTANA, MANUEL; JONES-RANDO, JACOB; REFOYO, IGNACIO; *et al.* Effects of Resistance Training on Skin Temperature and Its Relationship with Central Nervous System (CNS) Activation. **Healthcare**, v. 10, n. 2, p. 207, 2022.

SILVA, F. O. C.; MACEDO, D. V. Exercício físico, processo inflamatório e adaptação: uma visão geral. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, v. 13, n. 4, 2011.

SOUGLIS, A.; BOGDANIS, G.C.; CHRYSANTHOPOULOS, C.; APOSTOLIDIS, N.; GELADAS, N.D. Time course of oxidative stress, inflammation, and muscle damage markers for 5 days after a soccer match: Effects of Sex and Playing Position. **J Strength Cond Res**. Jul;32(7):2045-2054, 2018.

SLOAN, R. P.; MCCREATH, H.; TRACEY, K. J.; *et al.* RR Interval variability is inversely related to inflammatory markers: The CARDIA study. **Molecular Medicine**, v. 13, n. 3-4, p. 178–184, 2007.

STEWART, M.; STAFFORD, K.J.; DOWLING, S.K.; SCHAEFER, A.L.; WEBSTER, J.R. Eye temperature and heart rate variability of calves disbudded with or without local anaesthetic. *Physiol Behav*. Mar 18;93(4-5):789-97, 2008

STEWART, I.; MOGHADAM, P.; BORG, D.; *et al.* Thermal infrared imaging can differentiate skin temperature changes associated with intense single leg exercise, but not with delayed onset of muscle soreness. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 19, p. 469–477, 2020.

TIDBALL, J. G. Inflammatory processes in muscle injury and repair. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 288, n. 2, p. R345–R353, 2005.

TIDBALL JG, WEHLING-HENRICKS M. Damage and inflammation in muscular dystrophy: Potential implications and relationships with autoimmune myositis. **Curr. Opin. Rheumatol.**; 17: 707–13, 2005.

TOFAS, T.; JAMURTAS, A. Z.; FATOUROS, I.; NIKOLAIDIS, M. G.; KOUTEDAKIS, Y.; SINOURIS, E. A.; THEOCHARIS, D. A. Plyometric exercise increases serum indices of muscle damage and collagen breakdown. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 22, n. 2, p. 490-496, 2008.

TWIST, C.; GLEESON, N.; ESTON, R. The effects of plyometric exercise on unilateral balance performance. **Journal of Sports Sciences**, v. 26, n. 10, p. 1073-1080, 2008.



TRICOLI, V. Mecanismos envolvidos na etiologia da dor muscular tardia. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, v. 9, n. 2, p. 39-44, 2001.

TSENG, K. W.; TSENG, W. C.; LIN, M. J.; CHEN, H. L.; NOSAKA, K.; CHEN, T. C. Protective effect by maximal isometric contractions against maximal eccentric exercise-induced muscle damage of the knee extensors. **Research in Sports Medicine**, v. 24, n. 3, p. 228-241, 2016.

VENTURA, P. L. **Estudo da variabilidade da frequência cardíaca em jovens saudáveis submetidos ao método isostretching**. Universidade do Vale do Paraíba Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Faculdade Integral Diferencial-FACID Programa de Mestrado Interinstitucional em Bioengenharia. Dissertação de Mestrado. 2010.

WEHRWEIN, E. A.; ORER, H. S.; BARMAN, S. M. Overview of the anatomy, physiology, and pharmacology of the autonomic nervous system. **Comprehensive Physiology**, v. 6, p. 1239–1278, 2016.

YUAN, H.; SILBERSTEIN, S. D. Vagus nerve and vagus nerve stimulation, a comprehensive review: Part I. **Headache: The Journal of Head and Face Pain**, v. 56, n. 1, p. 71–78, 2016.

ZAPROUDINA, N.; VARMAVUO, V.; AIRAKSINEN, O.; NÄRHI, M. Reproducibility of infrared thermography measurements in healthy individuals. **Physiological measurement**, v. 29, n. 4, p. 515, 2008.

## **APÊNDICE**

### **Apêndice A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO FÍSICA

Você está sendo convidado a participar da pesquisa intitulada “Correlação dos marcadores de dano muscular, inflamatórios, cardiovasculares, hormonais, autonômicos e psicológicos com a termografia infravermelha após exercício físico em ambiente controlado”, Sob a responsabilidade dos professores pesquisadores Dr. Christiano Veneroso e Dr. Christian Emmanuel Torres Cabido, a qual pretende identificar se há associação entre os parâmetros de dano e inflamação muscular (métodos invasivos) com variáveis não invasivas como, a termografia infravermelha, escalas subjetivas de percepção de dor, esforço e recuperação durante a recuperação ao exercício em ambiente controlado.

Poderão ser incluídos nesta pesquisa, indivíduos do sexo masculino, fisicamente ativos, com idade entre 18 e 35 anos, que não possuam limitações físicas para a prática de qualquer exercício físico, bem como problemas autorrelatados de saúde que possam interferir nas análises que serão realizadas. Serão excluídos desta pesquisa aqueles participantes que não conseguirem cumprir todas as etapas da pesquisa, a saber: Após o consentimento e entendimento dos

voluntários sobre os objetivos e métodos utilizados nesta pesquisa, os mesmos irão passar por avaliações morfológicas e fisiológicas a fim de determinar suas características físicas. A caracterização da amostra se dará primeiramente através de avaliação da composição corporal e condicionamento cardiorrespiratório (avaliações feitas no mesmo dia), e continuará cinco dias após com a realização do teste de força máxima estática (FME) e força máxima dinâmica (FMD) (cinco dias após o teste de FME). Os sujeitos serão alocados em um único grupo. A etapa experimental ocorrerá com no mínimo cinco dias após a realização da caracterização da amostra, sendo que antes da execução do exercício, variabilidade de pressão arterial (VPA), variabilidade da frequência cardíaca (VFC), escala subjetiva de dor e imagem termográfica. Nos momentos referentes à recuperação ao exercício proposto, imediatamente após, 2 horas, 4 horas, 24 horas, 48 horas, 72 horas e 96 horas serão realizadas as seguintes coletas: VFC, VPA, escalas subjetivas de esforço, recuperação e dor, bem como avaliação termográfica e FME. Este protocolo será realizado em diferentes situações de exercício físico (exercícios em diferentes intensidades e durações). A pesquisa ocorrerá no Laboratório de Fisiologia e Prescrição do Exercício do Maranhão (LAFIPEMA).

Os riscos esperados aos participantes desta pesquisa se resumem aos riscos inerentes a qualquer prática esportiva. A produção do conhecimento empregada neste trabalho poderá beneficiar os participantes no que tange na validação de técnicas mais acessivas, não invasivas para controle de treinamento físico. Você poderá desistir de continuar participando desta pesquisa a qualquer momento sem nenhum prejuízo a sua pessoa. Você não terá nenhuma despesa e nem remuneração na participação desta pesquisa. Os resultados da pesquisa serão

analisados e publicados, mas sua identidade não será divulgada, sendo guardada em sigilo. Para qualquer outra informação, o Senhor (a) poderá entrar em contato com o pesquisador no Núcleo de Esportes da Universidade Federal do Maranhão, Av. dos Portugueses, 1966, Cidade Universitária do Bacanga, pelo telefone (98) 3272-8170, ou poderá entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa – CEP/UFMA (98) 3272-8708.

#### Consentimento Pós-Informação

Eu, \_\_\_\_\_, estou ciente sobre o que os pesquisadores querem fazer e porque precisam da minha colaboração, e entendi a explicação. Por isso, eu concordo em participar do projeto, sabendo que não vou ganhar nada e que posso sair quando quiser. Este documento é emitido em duas vias que serão ambas assinadas por mim e pelo pesquisador, ficando uma via com cada um de nós.

---

Assinatura do voluntário

---

Assinatura do Pesquisador Responsável  
São Luís, de \_\_\_\_, 2020

## ANEXO

### QUESTIONÁRIO INTERNACIONAL DE ATIVIDADE FÍSICA (IPAQ) VERSÃO CURTA

Nome: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ Idade: \_\_\_\_ Sexo: F ( ) M ( )

Nós estamos interessados em saber que tipos de atividade física as pessoas fazem como parte do seu dia a dia. Este projeto faz parte de um grande estudo que está sendo feito em diferentes países ao redor do mundo. Suas respostas nos ajudarão a entender que tão ativos nós somos em relação às pessoas de outros países. As perguntas estão relacionadas ao tempo que você gasta fazendo atividade física na ÚLTIMA semana. As perguntas incluem as atividades que você faz no trabalho, para ir de um lugar a outro, por lazer, por esporte, por exercício ou como parte das suas atividades em casa ou no jardim. Suas respostas são MUITO importantes. Por favor, responda cada questão mesmo que considere que não seja ativo. Obrigado pela sua participação!

Para responder as questões lembre-se que:

Atividades físicas VIGOROSAS são aquelas que precisam de um grande esforço físico e que fazem respirar MUITO mais forte que o normal.

Atividades físicas MODERADAS são aquelas que precisam de algum esforço físico e que fazem respirar UM POUCO mais forte que o normal.

Para responder as perguntas pense somente nas atividades que você realiza por pelo menos 10 minutos contínuos de cada vez.

1a. Em quantos dias da última semana você CAMINHOU por pelo menos 10 minutos contínuo sem casa ou no trabalho, como forma de transporte para ir de um lugar para outro, por lazer, por prazer ou como forma de exercício?

dias \_\_\_\_\_ por SEMANA ( ) Nenhum.

1b. Nos dias em que você caminhou por pelo menos 10 minutos contínuos quanto tempo no total você gastou caminhando por dia?

horas: \_\_\_\_\_ Minutos: \_\_\_\_\_

2a. Em quantos dias da última semana, você realizou atividades MODERADAS por pelo menos 10 minutos contínuos, como por exemplo, pedalar leve na bicicleta, nadar, dançar, fazer ginástica aeróbica leve, jogar vôlei recreativo, carregar pesos leves, fazer serviços domésticos na casa, no quintal ou no jardim como varrer, aspirar, cuidar do jardim, ou qualquer atividade que fez aumentar moderadamente sua respiração ou batimentos do coração (POR FAVOR, NÃO INCLUA CAMINHADA).

dias \_\_\_\_\_ por SEMANA ( ) Nenhum.

2b. Nos dias em que você fez essas atividades moderadas por pelo menos 10 minutos contínuos, quanto tempo no total você gastou fazendo essas atividades por dia?

horas: \_\_\_\_\_ Minutos: \_\_\_\_\_

3a. Em quantos dias da última semana, você realizou atividades VIGOROSAS por pelo menos 10 minutos contínuos, como por exemplo, correr, fazer ginástica

*aeróbica, jogar futebol, pedalar rápido na bicicleta, jogar basquete, fazer serviços domésticos pesados em casa, no quintal ou cavoucar no jardim, carregar pesos elevados ou qualquer atividade que fez aumentar MUITO sua respiração ou batimentos do coração.*

dias \_\_\_\_\_ por SEMANA ( ) Nenhum.

*3b. Nos dias em que você fez essas atividades vigorosas por pelo menos 10 minutos contínuos quanto tempo no total você gastou fazendo essas atividades por dia?*

horas: \_\_\_\_\_ Minutos: \_\_\_\_\_

Estas últimas questões são sobre o tempo que você permanece sentado todo dia, no trabalho, na escola ou faculdade, em casa e durante seu tempo livre. Isto inclui o tempo sentado estudando, sentado enquanto descansa, fazendo lição de casa visitando um amigo, lendo, sentado ou deitado assistindo TV. Não inclua o tempo gasto sentado durante o transporte em ônibus, trem, metrô ou carro.

*4a. Quanto tempo no total você gasta sentado durante um dia de semana?*

\_\_\_\_\_ horas \_\_\_\_ minutos.

*4b. Quanto tempo no total você gasta sentado durante em um dia de final de semana?*

\_\_\_\_\_ horas \_\_\_\_ minutos.