

Alex de Andrade Fernandes

**CINÉTICA E PROPOSTA DE ANÁLISE DA TEMPERATURA DA PELE DE  
MEMBROS INFERIORES EM ATLETAS DE FUTEBOL PROFISSIONAL**

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional/UFMG

2017

F363c Fernandes, Alex de Andrade  
2017 **Cinética e proposta de análise da temperatura da pele de membros inferiores em atletas de futebol profissional. [manuscrito] / Alex de Andrade Fernandes – 2017.**

122 f., enc.: il.

Orientador: Emerson Silami Garcia

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

Bibliografia: f. 98-107

1. Futebol - Teses. 2. Jogadores de futebol - Teses. 3. Temperatura - Teses. 4. Membros inferiores - Teses. 5. Inflamação – Teses. I. Garcia, Emerson Silami. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. III. Título.

CDU: 796

Ficha catalográfica elaborada pelo bibliotecário Danilo Francisco de Souza Lage, CRB 6: n° 3132, da Biblioteca da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG.

Alex de Andrade Fernandes

**CINÉTICA E PROPOSTA DE ANÁLISE DA TEMPERATURA DA PELE DE MEMBROS INFERIORES EM ATLETAS DE FUTEBOL PROFISSIONAL**

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

Orientador: Prof. Dr. Emerson Silami Garcia

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional/UFMG

2017



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

A Tese intitulada **“Cinética e proposta de análise da temperatura da pele de membros inferiores em atletas de futebol profissional”**, de autoria do doutorando **Alex de Andrade Fernandes**, defendida em 27 de novembro de 2017, na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, foi submetida à banca examinadora composta pelos professores:

Prof. Dr. Emerson Silami Garcia (orientador)  
Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Maicon Rodrigues Albuquerque  
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional  
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. André Gustavo Pereira de Andrade  
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional  
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. Ciro José Brito  
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. João Carlos Bouzas Marins  
Universidade Federal de Viçosa

Belo Horizonte, 27 de novembro de 2017.

*Tenha coragem, vá em frente.  
Determinação, coragem e autoconfiança  
são fatores decisivos para o sucesso. Não  
importam quais sejam os obstáculos e as  
dificuldades. Se estamos possuídos de uma  
inabalável determinação, conseguiremos  
superá-los independentemente das  
circunstâncias, devemos ser sempre  
humildes, recatados e despidos de orgulho*

*Dalai Lama*

Este trabalho foi realizado pelo Laboratório de Fisiologia do Exercício da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, da Universidade Federal de Minas Gerais (LAFISE/EEFFTO/UFMG), com auxílio de equipamentos concedidos anteriormente pela Coordenadoria de Apoio de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação Mineira de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

Dedico este trabalho à minha mãe Zilka Maria Andrade Fernandes, ao meu irmão Alessandro de Andrade Fernandes, à minha sobrinha Yasmin Fernandes, ao meu saudoso pai Concesso Feliz Fernandes, à minha amada esposa Myrian Augusta Araujo Neves do Valle, e ao meu filho Henrique, que está por chegar.  
A todos os meus amigos que sempre me incentivaram e apoiaram.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pela proteção nas estradas nos 30 mil quilômetros percorridos durante a realização deste doutorado, pela vida, pela família e por todas as oportunidades concedidas até agora, assim como pelas futuras também.

Em especial, agradeço à minha mãe, Zilka, pelo amor, carinho, atenção, confiança, apoio e cuidado. Por ser um exemplo de seriedade, honestidade, dedicação e de força, mesmo nos momentos mais difíceis da vida. Ao meu grande irmão, “paizão” Alessandro, que brilhantemente assumiu grande responsabilidade com a família, a minha eterna gratidão pela ajuda, confiança, cobrança, exemplo e carinho. Agradeço à minha sobrinha Yasmin.

À minha amada esposa Myrian, pelo amor, carinho, companheirismo e amizade, que tornam nossos dias mais felizes. Pela colaboração e compreensão em todos os momentos e agora por ser mamãe do nosso querido filhinho, que está por chegar.

Ao Prof. Eduardo Pimenta, pela amizade, ajuda e dedicação em todos os momentos deste trabalho. Sem ele este momento não seria possível. Ao Rodrigo Morandi, pela ajuda fundamental na coleta dos dados e desenvolvimento do trabalho.

Ao meu orientador Prof. Emerson Silami, pela confiança, por acreditar em minha capacidade de desenvolver este estudo, pela oportunidade proporcionada de obtenção deste título, e pela honra de trabalhar com um profissional com uma trajetória profissional impecável, e que tanto fez pela Educação Física e pelo Esporte mineiro e brasileiro.

Ao Prof. João Bouzas Marins, pela confiança, oportunidades proporcionadas na graduação e no mestrado, pela dedicação aos trabalhos, pelo exemplo e ensinamentos passados ao longo dos anos, meu eterno muito obrigado.

Ao amigo Danilo, pelo apoio e colaboração em todos os momentos deste trabalho. Ao Cristiano, pela parceria, colaboração, incentivo e ajuda. Ao Matheus pela confiança, incentivo, ajuda e parceria. Agradeço especialmente ao Carlos, que me acolheu e ajudou nos momentos difíceis para conclusão deste momento. Aos amigos do IFMG, Rafael, Gabriel, Dona Vilma, Kleber, Leandro, Carlos, Takeshi, Lucas, dentre tantos outros.

Agradeço também aos atletas voluntários da pesquisa.



Por último, um agradecimento especial ao meu saudoso pai Concesso e ao amigo Marcão.

## RESUMO

A temperatura da pele ( $T_P$ ) avaliada através da termografia infravermelha (TRI) é uma maneira não invasiva de se mensurar uma das respostas do organismo (calor) ao processo inflamatório, podendo, assim, ser uma variável associada ao dano muscular, que pode ser utilizada como estratégia para o controle do treinamento em atletas de alto rendimento. Desse modo, os objetivos deste estudo são: analisar a cinética da  $T_P$  de membros inferiores em atletas de futebol de elite após a participação em partidas oficiais, nos momentos M1 - (Pré-Jogo), M2 - 24 horas após a realização da partida; M3 - 48 horas após a realização da partida; verificar a possível correlação entre a  $T_P$  com o percentual individualizado da creatina quinase (CK); comparar as regiões corporais de interesse (RCIs) do lado direito com esquerdo, bem como da visão anterior com posterior; apresentar um novo método para análise da  $T_P$  de membros inferiores baseada na quantificação do número de pixels estratificado por faixas de temperaturas e zonas de referência de temperatura; além de analisar o número totais de pixels nas pernas direita e esquerda nas visões anterior e posterior nos diferentes momentos estudados. Para tal, a amostra foi composta por trinta (30) atletas de futebol pertencentes a um clube profissional da primeira divisão do futebol brasileiro, sendo que a coleta dos dados de CK e  $T_P$  foi realizada nos três momentos indicados anteriormente, ao longo das temporadas 2015, sete (7) partidas e da temporada 2016 seis (6) partidas do Campeonato Brasileiro de Futebol da Série A. Os resultados apontam que a  $T_P$  de todas as RCIs é estatisticamente significativa ( $P < 0,001$ ), mais elevada no M2, sendo  $\cong 1,5$  °C maior nas RCIs das coxas e pernas na visão anterior e  $\cong 2,0$  °C nas coxas na visão posterior, apresentando uma queda estatística significativa ( $P < 0,001$ ) no M3, mas ainda não suficiente estatisticamente para retornar a condição apresentada no M1. A participação em uma partida de futebol não provoca assimetria entre as RCIs em todos os momentos estudados. Já na comparação entre as RCIs, na visão anterior com posterior, pode-se observar que existiu diferença significativa ( $P < 0,001$ ) em sua maioria nos momentos M1 e M3, sendo as variações de  $\cong 0,4$  °C, com exceção do momento M2. Existe correlação positiva significativa e moderada entre a  $T_P$  registrada em todas as RCIs com a CK, sendo o menor ( $r = 0,52$ ;  $P < 0,001$ ). A aplicação deste novo método baseado na estratificação do número de pixels separados por faixas de temperatura e zonas de referências é sensível às mudanças fisiológicas ocorridas em função das partidas, e proporciona maior agilidade e contemplação de todas as áreas anatômicas dos músculos, sem necessitar desenhar marcadores nas imagens térmicas. Desta maneira, conclui-se que a  $T_P$  de membros inferiores apresenta um comportamento ao longo do tempo semelhante ao da CK, com aumento 24 horas após a realização das partidas e tendência de redução no M3, mas ainda não suficiente para retornar a condição apresentada pré-jogo. Assim, este novo método denominado termopixelgrafia pode ser utilizado em *softwares* e programas específicos que visem auxiliar no processo de controle da carga de treinamento, prevenção de lesões e acompanhamento do processo de recuperação em atletas de futebol.

**Palavras-chave:** Futebol. Termografia infravermelha. Temperatura da pele. Creatina Quinase. Inflamação.

## ABSTRACT

The skin temperature ( $T_{SK}$ ) evaluated through infrared thermography (IRT) a noninvasive way of measuring one of the body's responses (heat) to the inflammatory process and can therefore be a variable associated with muscle damage, which can be used as a strategy to control training in high-performance athletes. Thus, the objectives of this study are: to analyze the kinetics of lower limbs  $T_{SK}$  in elite soccer athletes, after participation in official matches, at moments M1 - (Pre-Game), M2 - 24 hours after the game; M3 - 48 hours after the start of the match; verify the possible correlation between  $T_{SK}$  with the individualized percentage of creatine kinase (CK); to compare the body regions of interest (RCIs) on the right side with left, as well as the anterior and posterior view; to present a new methodology for lower limbs  $T_{SK}$  analysis based on the quantification of the number of pixels stratified by temperature ranges and temperature reference zones; besides analyzing the total number of pixels in the right and left legs in the anterior and posterior views in the different moments studied. For this purpose, the sample consisted of thirty (30) soccer athletes belonging to a professional club of the first division of Brazilian soccer, and the data collection of CK and  $T_{SK}$  was performed in the three moments indicated previously, throughout the seasons 2015, seven (7) matches and the 2016 season six (6) matches of the Brazilian Serie A Football Championship. The results indicate that the  $T_{SK}$  of all the RCIs is statistically significant ( $P < 0.001$ ) higher in the M2, with  $\cong 1.5$  °C higher in the RCIs of the thighs and legs in the anterior view and  $\cong 2.0$  °C in the thighs in the ( $P < 0.001$ ) in M3, but not yet statistically enough to return to the condition presented in M1. Participation in a football match does not cause asymmetry between the among the RCIs at all times studied. In the comparison between RCIs in the anterior and posterior view, it can be observed that there was a significant difference ( $P < 0.001$ ), mostly at moments M1 and M3, with variations of  $\cong 0.4$  °C, with the exception of moment M2. There is a significant and moderate positive correlation between  $T_{SK}$  recorded in all RCIs with CK being the lowest ( $r = 0.52$ ;  $P < 0.001$ ). The application of this new methodology based on the stratification of the number of pixels separated by temperature ranges and reference zones are sensitive to the physiological changes that occur in function of the matches, and provide greater agility, contemplation of all anatomical areas of the muscles, without the need to draw markers thermal images. In this way, it is concluded that the  $T_{SK}$  of lower limbs presents a behavior over time similar to that of CK, with increase 24 hours after the accomplishment of the departures and tendency of reduction in M3, but not yet sufficient to return the condition presented pre-game thus this new methodology called "thermopixelgraphic" here can be used in software and specific programs aimed at assisting in the process control of training load, injury prevention and monitoring of the recovery process in soccer players.

**Keywords:** Soccer. Infrared thermography. Skin temperature. Creatine Kinase. Inflammation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1.</b>	Experimento realizado por Frederick William Herschel em 1800 em que ele descobriu radiação infravermelha.....	25
<b>Figura 2.</b>	Primeiro termograma feito por John Herschel utilizando radiação solar em 1840.....	26
<b>Figura 3.</b>	Fotografia de uma mulher em 1949 (A) e seu termograma ao lado (B).....	27
<b>Figura 4.</b>	Equipamentos utilizados para avaliação termográfica em diferentes épocas, (A) 1942, (B) 1962, (C) 1970 e (D) 2002.....	28
<b>Figura 5.</b>	Número de artigos publicados no MEDLINE/PubMed utilizando a palavra “thermography” ao longo dos anos.....	29
<b>Figura 6.</b>	Dois modelos de câmeras termográficas utilizadas nos dias atuais.....	30
<b>Figura 7.</b>	Processo de captação e formação das IT.....	31
<b>Figura 8.</b>	Espectro eletromagnético.....	31
<b>Figura 9.</b>	À medida que a temperatura aumenta, ocorre um aumento da área sob a curva do gráfico (lei de Stefan-Boltzmann).....	32
<b>Figura 10.</b>	Lei de Wien, note como o pico da curva da curva de menor temperatura ocorre em um comprimento de onda maior.....	33
<b>Figura 11.</b>	Lei de Planck, que afirma que todo corpo emite um espectro de radiação e que determinado comprimento de onda possui sua temperatura específica.....	34
<b>Figura 12.</b>	Citocinas secretadas pelos macrófagos em resposta ao processo inflamatório incluindo IL-1 $\beta$ , IL-6, CXCL8, IL-12 e TNF- $\alpha$ .....	39
<b>Figura 13.</b>	A IL-1, a IL-6 e a TNF- $\alpha$ também são pirógenos endógenos, que atuam elevando a temperatura corporal.....	48
<b>Figura 14.</b>	Comportamento da $T_i$ e $T_M$ durante a realização de uma partida de futebol.....	50
<b>Figura 15.</b>	Comparação de IT pré-treino e 24h pós-treino. (1) Sujeito do grupo controle, pré-treino; (2) Sujeito do grupo controle, 24h pós-treino; (3) sujeito do grupo experimental, pré-treino, e (4) sujeito do grupo experimental, 24h pós-treino.....	53
<b>Figura 16.</b>	Comportamento da $T_P$ e da espessura da musculatura exercitada do bíceps até 96h após a realização do treino de força.....	54
<b>Figura 17.</b>	IT coletada antes da partida (a) e 48h após a realização de uma partida de rúgbi b).....	54
<b>Figura 18.</b>	IT da visão anterior nos momentos: a) 24 horas antes da partida; b) 24 horas após a realização da partida; e c) 48 horas após a realização da partida.....	55
<b>Figura 19.</b>	IT da visão posterior nos momentos: a) 24 horas antes da partida; b) 24 horas após a realização da partida; e c) 48 horas após a realização da partida.....	56
<b>Figura 20.</b>	Concentração plasmática da CK em diferentes momentos após os jogos, sendo Pré (repouso), Pós-1 (12-20h), Pós-2 (36- 48h), Pós-3 (60-65h) e Pós-4 (90-110h).....	58
<b>Figura 21.</b>	% $\Delta$ CKJogo durante diferentes períodos de uma temporada de atletas profissionais de um clube de primeira divisão do futebol	

	brasileiro.....	59
<b>Figura 22.</b>	Diferentes RCIs demarcadas manualmente.....	61
<b>Figura 23.</b>	Diferentes interfaces do Termotracker®.....	62
<b>Figura 24.</b>	Exemplo do método proposto por (Barcelos <i>et al.</i> , 2014).....	63
<b>Figura 25.</b>	IT da visão anterior (A) e posterior (B) de membros inferiores, com destaque para as RCI selecionadas para registro da $T_P$ .....	70
<b>Figura 26.</b>	$T_P$ nas RCIs ao longo dos diferentes momentos do estudo, nas visões anterior (A) e posterior (B).....	73
<b>Figura 27.</b>	Delta ( $\Delta$ ) da $T_P$ nos momentos M1 - M2 e M3, nas diferentes RCIs analisadas, nas visões anterior (A) e posterior (B).....	74
<b>Figura 28.</b>	Valores da CK (U/L) e seu % individualizado nos diferentes momentos.....	75
<b>Figura 29.</b>	Delimitações das regiões anatômicas na visão anterior (A) e posterior (B) para extração da frequência de pixels na perna direita e esquerda.....	86
<b>Figura 30.</b>	Percentual da frequência de pixels em cada faixa de temperatura em $C^\circ$ , nas pernas direita e esquerda e visão anterior e posterior nos diferentes momentos estudados nos momentos M1 - M2 e M3, nas visões anterior (A; B) e posterior (C; D).....	90
<b>Figura 31.</b>	Percentual da frequência de pixels em cada zona de temperatura, nas pernas direita e esquerda e visão anterior e posterior nos diferentes momentos estudados nos momentos M1 - M2 e M3, nas visões anterior (A; B) e posterior (C; D).....	91
<b>Figura 32.</b>	Número totais de pixels nas pernas direita e esquerda nas visões anterior e posterior nos diferentes momentos estudados nos momentos M1 - M2 e M3.....	92

### LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b>	Caracterização dos jogos analisados no estudo.....	68
<b>Tabela 2.</b>	$T_P$ das coxas e pernas (direita e esquerda) na visão anterior e posterior em $^\circ C$ , nos diferentes momentos de analisados, bem como o delta ( $\Delta$ ) da $T_P$ na comparação da lateralidade das RCIs e o delta ( $\Delta$ ) da $T_P$ na comparação entre as visões anterior e posterior.....	72
<b>Tabela 3.</b>	Correlação da $T_P$ registrada em cada RCI analisada com o percentual individualizado da CK.....	75
<b>Tabela 4.</b>	Faixas de temperatura em $^\circ C$ e suas respectivas zonas de referência.....	86
<b>Tabela 5.</b>	Frequência do número de pixels e seu percentual, separados por faixas de temperatura em $C^\circ$ , para perna esquerda nos diferentes momentos estudados e nas visões anterior e posterior.....	88
<b>Tabela 6.</b>	Frequência do número de pixels e seu percentual, separados por faixas de temperatura em $C^\circ$ , para perna esquerda nos diferentes momentos estudados e nas visões anterior e posterior.....	89

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADP: Adenosina Difosfato

ATP: Adenosina Trifosfato

CAAE: Certificado de Apresentação para Apreciação Ética

CEP: Comitê de Ética em Pesquisa

CK: Creatina Quinase

CNPq: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

COEP: Comitê de Ética em Pesquisa (UFMG)

DOMS: Delayed Onset Muscle Soreness

Dp: Desvio padrão

EEFFTO: Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional

IL-1 $\beta$ : Interleucina 1 Beta

IL-6: Interleucina 6

IT: Imagem Térmica

ISAK: International Society for the Advancement of Kinanthropometry

NK: Natural Killer

NF- $\kappa$ B: Fator Nuclear  $\kappa$ B

PAR-Q: Physical Activity Readiness Questionnaire

PPGCE: Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte

PRO: Proteínas

RCI: Região Corporal de Interesse

RCIs: Regiões Corporais de Interesse

TCLE: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

T<sub>I</sub>: Temperatura Interna

T<sub>P</sub>: Temperatura da Pele

T<sub>M</sub>: Temperatura Muscular

TRI: Termografia Infravermelha

TNF- $\alpha$ : Fator de Necrose Tumoral  $\alpha$

UFV: Universidade Federal de Viçosa

VO<sub>2max</sub>: Volume de Consumo Máximo de Oxigênio

Yo-Yo IR2: Yo-Yo Intermittente Recovery Test Level 2

vs.: Versus

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>19</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>24</b>
2.1 História da termografia infravermelha .....	<b>24</b>
2.2 Princípios físicos que norteiam a termografia infravermelha.....	<b>30</b>
2.3 Validade e reprodutibilidade da termografia infravermelha para medida da temperatura da pele .....	<b>34</b>
2.4 O sistema imune .....	<b>36</b>
2.5 Processos inflamatórios nas microlesões e reparo muscular.....	<b>36</b>
2.6 Temperatura interna, muscular e o jogo de futebol .....	<b>46</b>
2.7 A temperatura da pele e o dano muscular .....	<b>51</b>
2.8 A creatina quinase e o dano muscular .....	<b>56</b>
2.9 Métodos de análises das imagens térmicas.....	<b>60</b>
<b>3. OBJETIVOS - ESTUDO 1</b> .....	<b>65</b>
3.1 Cinética da temperatura da pele de membros inferiores em atletas de futebol .....	<b>65</b>
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS - ESTUDO 1</b> .....	<b>66</b>
4.1 Cuidados éticos.....	<b>66</b>
4.2 Amostra.....	<b>66</b>
4.3 Caracterização e avaliação física dos voluntários.....	<b>67</b>
4.4 Caracterização das partidas.....	<b>68</b>
4.5 Delineamento experimental - estudo 1 .....	<b>69</b>
4.6 Análise estatística - estudo 1 .....	<b>71</b>
<b>5. RESULTADOS - ESTUDO 1</b> .....	<b>72</b>
<b>6. DISCUSSÃO - ESTUDO 1</b> .....	<b>76</b>
<b>7. CONCLUSÃO - ESTUDO 1</b> .....	<b>83</b>
<b>8. OBJETIVOS - ESTUDO 2</b> .....	<b>84</b>
8.1 Novo método para análise da $T_P$ de membros inferiores em atletas de futebol avaliada através da termografia infravermelha. ....	<b>84</b>
<b>9. MATERIAIS E MÉTODOS - ESTUDO 2</b> .....	<b>85</b>
9.1 Delineamento experimental - estudo 2.....	<b>85</b>
9.2 Análise estatística - estudo 2 .....	<b>87</b>
<b>10. RESULTADOS - ESTUDO 2</b> .....	<b>88</b>
<b>11. DISCUSSÃO - ESTUDO 2</b> .....	<b>93</b>
<b>12. CONCLUSÃO - ESTUDO 2</b> .....	<b>97</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>98</b>
<b>ANEXO I</b> .....	<b>108</b>
<b>ANEXO II</b> .....	<b>109</b>
<b>ANEXO III</b> .....	<b>110</b>
<b>ANEXO IV</b> .....	<b>111</b>
<b>ANEXO V</b> .....	<b>112</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Entre as décadas de 70 e 90 foram produzidos os primeiros estudos utilizando a termografia infravermelha (TRI) no meio esportivo. Os resultados indicaram que TRI poderia auxiliar no diagnóstico e controle da evolução de lesões esportivas, além de auxiliar na eficácia de tratamentos, demonstrando claramente alterações térmicas nos tecidos envolvidos, estando relacionado com o estado clínico e funcional dos atletas (KEYL; LENHART, 1975; BAGARONE, 1987; POCHACZEVSKY, 1987; GIANI *et al.*, 1989; GARAGIOLA e GIANI, 1990).

Nos dias atuais, observa-se um *crescimento* dos números de publicações que utilizaram a TRI como equipamento de medida de da temperatura da pele ( $T_P$ ). Isto se deve principalmente a um maior entendimento sobre o assunto, aceitação, conhecimento das limitações e das possibilidades de aplicação da técnica, bem como a melhorias tecnológicas nas câmeras termográficas, que tiveram um impacto importante na qualidade da imagem, velocidade de gravação, precisão e possibilidades de análises.

De maneira geral, a TRI detecta a radiação infravermelha emitida naturalmente pelas pessoas, sendo esta invisível ao olho humano, e a transforma em imagem térmica (IT) visível, convertendo a intensidade da radiação infravermelha em leituras de temperaturas. As câmeras termográficas possuem lentes especiais que concentram a energia térmica, sendo esta processada de forma a mostrar a IT em um display ou monitor de vídeo.

Os equipamentos mais modernos presentes nos dias atuais contribuem para que a TRI seja considerada uma ferramenta válida, precisa e confiável para medir a  $T_P$  (SHERMAN *et al.*, 1996; FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2015; FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2017b). É importante destacar que a maioria das câmeras infravermelhas apresenta precisão de 1°C ou 1% e sensibilidade térmica até 0,025°C. Entretanto, estes equipamentos são feitos originalmente para aplicação industrial, coleta em ambiente externo e abrangem uma larga faixa de temperatura, como por exemplo -20°C a 350°C, podendo ir até 3000°C. Assim, em condições de controladas, normalmente encontradas nos locais de coleta de dados e laboratórios, esta precisão, por sua vez, é aumentada, o que contribui para



obtenção de resultados mais confiáveis e precisos (FERNANDES; MARINS, 2011; FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2015; FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2017b).

Nesse sentido, diferentes autores têm utilizado a TRI e, conseqüentemente, a  $T_P$  como um método alternativo para controle de treinamento em atletas de alto nível (HILDEBRANDT *et al.*, 2010; BANDEIRA *et al.*, 2012; MARINS *et al.*, 2014b; MARINS *et al.*, 2015a; FERNANDES *et al.*, 2017; MAIOR *et al.*, 2017). Logo, é importante destacar as bases fisiológicas que sustentam a utilização da TRI como técnica de controle de treinamento, uma vez que após a realização do exercício físico existe um processo inflamatório agudo onde é possível identificar os quatro sinais cardinais, que podem ser descritos como: calor, vermelhidão (rubor), inchaço (tumor) e dor.

A sensação de calor percebida na musculatura local utilizada é causada pela vasodilatação cutânea com maior fluxo sanguíneo, apresentando maior temperatura por ser redirecionado das áreas mais internas da musculatura. Fenômeno esse que, por sua vez, resulta na vermelhidão (devido ao número adicional de eritrócitos que passam através da área) (PUNCHARD *et al.*, 2004; PAULSEN *et al.*, 2012). Já o inchaço é o resultado do aumento da passagem de líquido dos vasos sanguíneos dilatados e permeáveis para tecidos circundantes e infiltração de células no tecido danificado. O alongamento e até mesmo a perda da função de terminações nervosas sensoriais, por sua vez, além de efeitos diretos de mediadores inflamatórios, resultam na sensação percebida de dor (PUNCHARD *et al.*, 2004; PAULSEN *et al.*, 2012).

Dessa forma, todos estes fatores resultam em uma maior  $T_P$  registrada nas regiões corporais exercitadas. Assim, a  $T_P$  pode ser uma medida indireta do processo inflamatório decorrente do dano muscular gerado pelo exercício, em especial aquele com característica excêntrica, que pode ser observado durante uma partida de futebol, sendo a  $T_P$  uma maneira não invasiva de se mensurar uma das respostas do organismo (calor) ao processo inflamatório. Assim, ela pode ser uma variável associada ao dano muscular gerado em função das partidas e treinamentos, permitindo ser utilizada como estratégia de controle de treinamento em atletas de futebol de alto rendimento (SILLERO-QUINTANA *et al.*, 2011; AL-NAKHLI *et al.*, 2012; BANDEIRA *et al.*, 2012).

A TRI permite ao avaliador realizar uma análise qualitativa e quantitativa. Nesta primeira é possível identificar regiões de hipertermia/hipotermia, o que contribui para avaliação do estado físico do atleta. Esta condição difere dos marcadores bioquímicos, como, por exemplo, a creatina quinase (CK), que não determinam a localização anatômica do local que apresenta um maior processo inflamatório (hipertermia), ou processo degenerativo (hipotermia) (GÓMEZ-CARMONA *et al.*, 2008; HILDEBRANDT *et al.*, 2010; BANDEIRA *et al.*, 2012; MARINS *et al.*, 2015a). Já na análise quantitativa é possível extrair dados com valores de temperatura que, a depender da característica do equipamento utilizado, podem chegar a mais de 1.310.000 pixels, onde cada um destes representa um valor de temperatura. Nesta análise, o avaliador pode selecionar a região corporal de interesse (RCI), extrair valores de temperatura média, máximo e mínimo, criar banco de dados e acompanhar as variações de temperatura em função dos treinamentos e partidas (GÓMEZ-CARMONA *et al.*, 2008; HILDEBRANDT *et al.*, 2010; BANDEIRA *et al.*, 2012; BARCELOS *et al.*, 2014; MARINS *et al.*, 2015a).

Nesse sentido, até o presente momento, para a realização das análises das IT coletadas através da TRI, retângulos são determinados manualmente através de *software* específicos para obtenção dos valores de  $T_P$  da RCI analisada (MARINS *et al.*, 2014a; MARINS *et al.*, 2014b; FERNANDES *et al.*, 2016). Usualmente, em uma análise dos membros inferiores em atletas de futebol, oito (8) regiões corporais de interesse (RCIs) são determinadas, sendo elas nas coxas direita e esquerda, perna direita e esquerda, nas visões anterior e posterior, além da média dos valores de  $T_P$  obtido nesta RCI sendo computado (MARINS *et al.*, 2014b). Entretanto, este é um processo que demanda tempo, precisão e experiência do operador do *software*. Além disso, a seleção das RCIs neste modelo de retângulos não contempla partes importantes dos músculos das coxas e pernas.

Alternativamente, pode-se utilizar para análise das IT um método baseado no número de pixels, que apresenta características diferentes dos métodos mais utilizados atualmente. Este novo método de análise pode proporcionar maior agilidade, contemplação de todas as áreas anatômicas dos músculos, análise localiza e global do número de pixels em cada temperatura ou faixas de temperaturas, além de não necessitar desenhar marcadores nas IT, o que deixa o

processo mais ágil e reduz possíveis erros nas demarcações, permitindo ao avaliador acompanhar as variações região de interesse.

Assim, o desenvolvimento ou aproveitamento de tecnologias aplicadas ao futebol que podem auxiliar no controle de treinamento e, conseqüentemente, na prevenção de lesões, passa a ser de fundamental importância, em especial para o público de atletas profissionais que frequentemente são obrigados a jogar partidas consecutivas e com intervalos de 3 ou 4 dias. Esse contexto é cerceado normalmente por viagens, alterações repentinas das condições climáticas e nos horários de jogos e sono, criando um cenário onde a completa recuperação física pode não ser alcançada, o que pode resultar em queda de rendimento e até mesmo lesão. Desta maneira, estudos científicos devem ser desenvolvidos com objetivo de produzir conhecimento para que esta aplicação evidencie o comportamento da  $T_P$  ao longo do tempo de recuperação após as partidas ou no tratamento das IT e análise dos dados coletados.

Além destes argumentos, até o presente momento, após pesquisa realizada em 05 de outubro de 2017 nas principais bases de dados em ciências da saúde *PubMed*, *MEDLINE*, *SciELO* e *LILACS*, com as palavras chave “Termografia infravermelha” e “Exercício” e em inglês “*Infrared Thermography*” e “*Exercise*”, não foi encontrado estudo científico que tenha descrito a cinética da  $T_P$ , ou seja, seu comportamento ao longo do tempo, seja ela após treinamentos ou partidas de futebol.

Assim, por mais que alguns estudos tenham indicado que a TRI possa ser utilizada como ferramenta de controle de treinamento, os mesmos não registraram o comportamento  $T_P$  ao longo do tempo e após o estímulo físico extremamente intenso e desgastante, como o observado durante as partidas oficiais, o que leva a crer existir, portanto, diversas lacunas científicas sobre a temática.

Nesse âmbito, é possível constatar que os métodos tradicionais de análise das IT necessitam de aprimoramentos e novas propostas para facilitar e melhorar a análise e interpretação dos coletados em atletas de futebol, podendo, dessa forma, contribuir de forma relevante para ciências do esporte.

Assim sendo, este trabalho será dividido em dois estudos, sendo o primeiro intitulado “Cinética da temperatura da pele de membros inferiores em atletas de futebol”, e com a finalidade de analisar a cinética da  $T_P$  de membros inferiores em

atletas de futebol de elite, após a participação em partidas oficiais. O segundo é intitulado “Novo método para análise da  $T_P$  de membros inferiores em atletas de futebol avaliada através da termografia infravermelha”, e visa apresentar um método alternativo para análise da  $T_P$  de membros inferiores em atletas de futebol profissional.

No anexo II, III, IV e V são apresentados os artigos publicados até o momento que, foram derivados deste projeto geral que trata da TRI aplicada ao futebol

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Visando subsidiar o referencial teórico deste trabalho, a revisão de literatura será dividida em nove tópicos, sendo eles: (1) História da termografia infravermelha; (2) Princípios físicos que norteiam a termografia infravermelha; (3) Validade e reprodutibilidade da termografia infravermelha para medida da temperatura da pele; (4) O sistema imune; (5) Processos inflamatórios nas microlesões e reparo muscular; (6) Temperatura interna, muscular e o jogo de futebol; (7) A temperatura da pele e o dano muscular; (8) A creatina quinase e o dano muscular; (9) Métodos de análises das imagens térmicas. A seguir serão apresentados com mais detalhes este conteúdo.

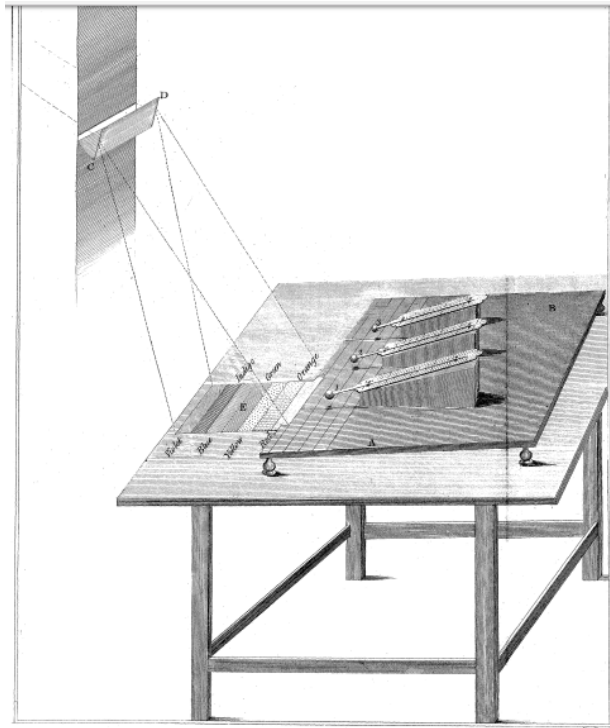
### 2.1 História da termografia infravermelha

A radiação infravermelha foi descoberta em 1800 por Sir Frederick William Herschel, um astrônomo alemão. Herschel ao observar a luz solar passar por diferentes vitrais coloridos e notou que a quantidade de calor transmitido dependia da cor, sendo que estas poderiam apresentar diferentes temperaturas. Ele realizou um experimento engenhoso para testar sua hipótese: medir o quanto de calor passava pelas diferentes cores (HERSCHEL, 1800; RING, 2006, 2007). Em 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). Então, mediu a temperatura de cada uma das cores que se formavam através de três termômetros com bulbos pretos (para melhor absorver o calor) e, para cada cor do espectro, posicionou um bulbo em uma cor visível enquanto os outros dois foram posicionados fora do espectro para controle. 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 (Figura 1) (HERSCHEL, 1800).

Assim, na sequência do experimento, mediu a temperatura da região logo após a cor vermelha, onde aparentemente não havia luz solar, e descobriu que a temperatura nessa região do espectro era mais elevada que nos lugares onde havia

luz incidente. 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”. Após mais experimentos, ele descobriu que essa radiação sofria os efeitos de reflexão, refração, absorção e transmissão de forma semelhante à das radiações do espectro visível. Essa radiação foi depois renomeada de radiação infravermelha. Esse experimento foi importante para demonstrar que existem tipos de radiação que não são visíveis aos olhos humanos (HERSCHEL, 1800; JIANG *et al.*, 2005; RING, 1998, 2006, 2007).

**Figura 1.** Experimento realizado por Frederick William Herschel em 1800, momento em que ele descobriu radiação infravermelha.

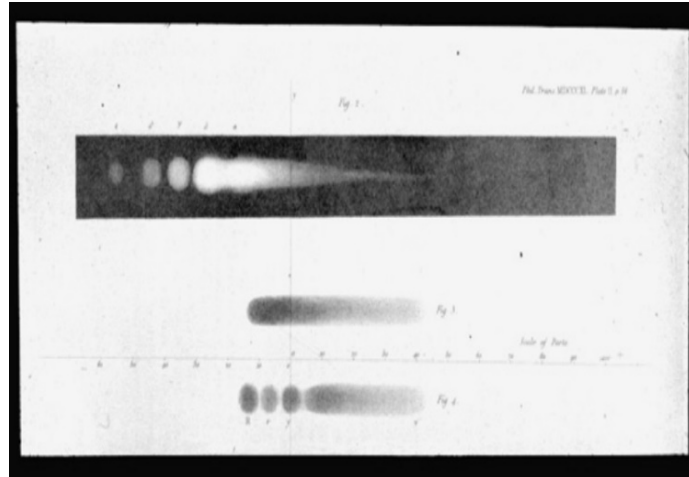


Fonte: (HERSCHEL, 1800).

O Filho de William Herschel, John Frederick William Herschel, após a morte de pai, realizou uma série de experiências sobre o espectro infravermelho e obteve com sucesso uma imagem usando a radiação solar em 1840 (Figura 2) (Ring, 2006; Ring, 2007). 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 evaporografia - sendo essa imagem obtida chamada de

"termograma", termo ainda utilizado nos dias de hoje para descrever uma imagem feita por radiação térmica (RING, 2006, 2007).

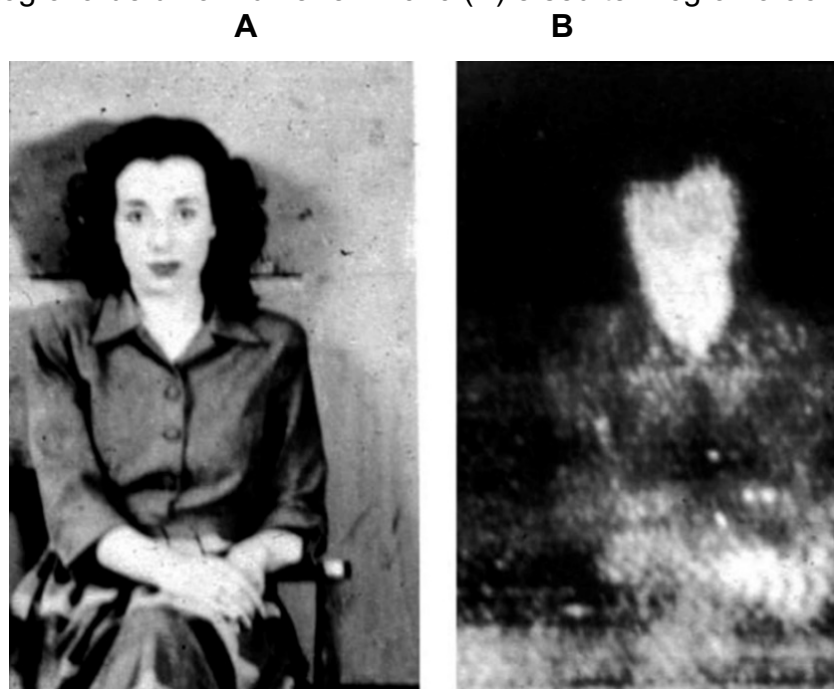
**Figura 2.** Primeiro termograma feito por John Herschel utilizando radiação solar em 1840.



Fonte: (RING, 2007).

Uma importante evolução aconteceu entre os anos de 1940 e 1950, com o desenvolvimento do primeiro sensor eletrônico para a radiação infravermelha. As primeiras imagens médicas tiradas com o sistema protótipo "Pyroscan" foram feitas no Hospital Middlesex em Londres, e no Royal Hospital Nacional para Doença Reumática, em Bath, entre os anos 1959-1961 (RING, 2006; RING, 2007). A Figura 3 mostra uma fotografia de uma mulher em 1949 (A) e seu termograma ao lado (B).

**Figura 3.** Fotografia de uma mulher em 1949 (A) e seu termograma ao lado (B).

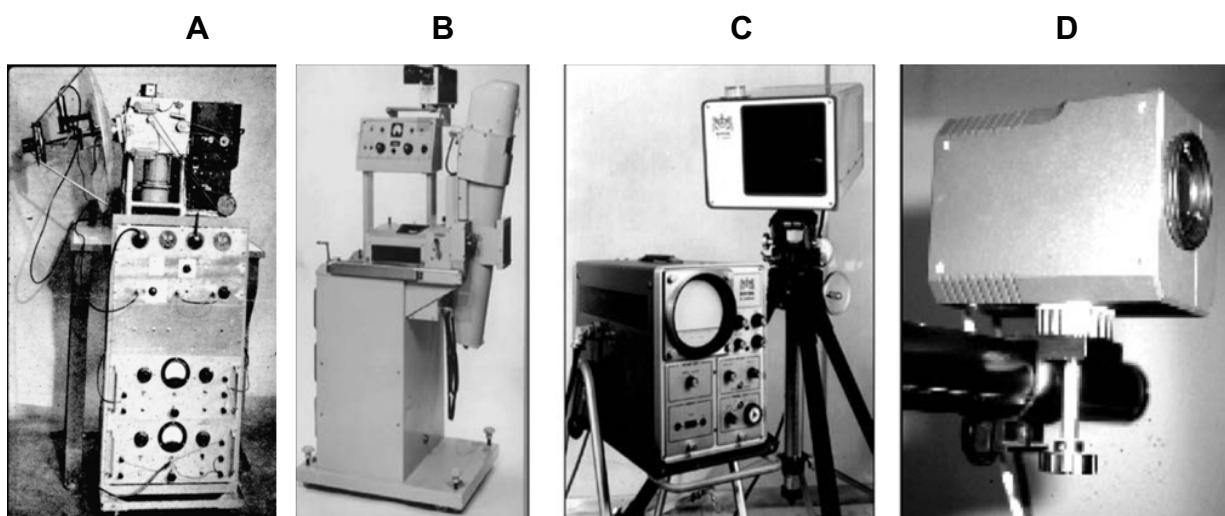


Fonte: (RING, 2006).

Quando comparados com os padrões modernos, este termograma (Figura 3) apresentava baixa qualidade. Em 1962, as imagens foram melhoradas, apesar de a análise mecânica ainda ser lenta, pois cada imagem necessitava de 2-5 minutos para ser gravada em *pape* (RING, 1998; 2006; 2007). Em meados de 1970, o primeiro sistema de computador foi instalado em Bath, Reino Unido, utilizando um processador *PDP 8*, onde a imagem era colorida e digitalizada, podendo assim ser arquivada neste formato. Outro importante avanço foi o fato de que as RCIs poderiam ser selecionadas em cada imagem, o que permitia ao avaliador saber o valor da  $T_P$  em cada seguimento corporal (RING, 1998; 2006; 2007). A Figura 4 mostra a evolução dos equipamentos utilizados para avaliação termográfica em diferentes épocas, 1942 (A), 1962 (B), 1970 (C) e 2002 (D).



**Figura 4.** Equipamentos utilizados para avaliação termográfica em diferentes épocas, (A) 1942, (B) 1962, (C) 1970 e (D) 2002.



Fonte: (RING, 2006; RING, 2007).

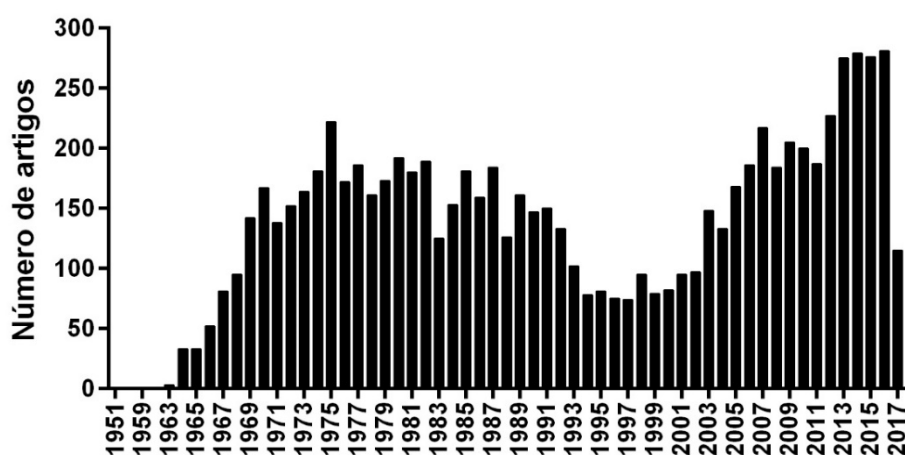
Em 1972, a *European Association of Thermology* foi formada, ao passo em que a primeira importante conferência aconteceu em Amsterdã, no ano de 1974. Isto levou à formação de grupos de estudo para formular diretrizes para aplicação das técnicas para coleta das imagens.

Além disso, naquela época começaram a ocorrer os primeiros estudos em ciência do esporte, relacionados à sua aplicação na medicina esportiva (Priego Quesada *et al.*, 2017). O primeiro registro de estudo sobre a aplicação da TRI na ciência do esporte data de 1975, intitulado "Termografia em lesões esportivas e lesões do sistema locomotor devido ao esporte", desenvolvido por (KEYL e LENHART, 1975), onde o foram examinados 82 pacientes e 50 atletas com lesões diferentes. O principal resultado foi a observação de hipertermia na área lesionada. Na sequência, outros estudos foram desenvolvidos com resultados apontando que TRI poderia auxiliar no diagnóstico, controle da evolução de lesões esportivas e eficácia de tratamentos, demonstrando claramente alterações térmicas nos tecidos envolvidos, o que sinalizava estar relacionado com o estado clínico e funcional (BAGARONE, 1987; POCHACZEVSKY, 1987; GIANI *et al.*, 1989; GARAGIOLA e GIANI, 1990).

A Figura 5 apresenta o número de artigos publicados ao longo dos anos, na base de dados *MEDLINE/PubMed*, que utilizavam a palavra "*thermography*". Foi obtido um total de 8.178 ocorrências. Quando se analisa o número de artigos

publicados do final da década de 60 até o final da década de 80, é possível observar um aumento considerável do número de publicações envolvendo a TRI; entretanto, na década de 90 e início dos anos 2000 houve uma redução considerável do número de publicações. Esta redução pode ser explicada por diversos fatores, com destaque para: preço elevado dos equipamentos; baixa qualidade dos sensores térmicos; baixa qualidade no processamento das imagens; expectativas acima das possibilidades da técnica; retirada da avaliação termográfica do sistema de cobertura do programa nacional de seguro social (*Medicare*), administrado pelo Governo Federal dos Estados Unidos; interpretação equivocada por parte de alguns avaliadores; diferença significativa nos valores de  $T_P$  registrados por diferentes equipamentos.

**Figura 5.** Número de artigos publicados no MEDLINE/PubMed utilizando a palavra “thermography” ao longo dos anos.



Fonte: Dados da pesquisa.

Ao realizar pesquisa na base de dados *MEDLINE/PubMed* utilizando as palavras “*thermography*” e “*athlete*”, obtivemos um total de apenas 22 artigos, sendo a maioria publicados após o ano de 2010, o que indica que este é um tema que carece da realização de novos estudos e que começa a ganhar importância no meio científico.

De 2003 até os dias atuais é possível observar um crescimento do número de publicações que utilizaram a TRI. Isto se deve principalmente a um maior entendimento sobre o assunto, aceitação, conhecimento das limitações e das

possibilidades de aplicação da técnica, bem como a melhorias tecnológicas nas câmeras termográficas, que tiveram um impacto importante, tanto a qualidade da imagem quanto na velocidade de gravação.

As câmeras termográficas atuais são portáteis, de fácil operação, apresentam precisão de  $1^{\circ}\text{C}$  ou 1% e sensibilidade térmica até  $0,025^{\circ}\text{C}$ , com resolução de imagem chegando a 1280 a 1024 pixels e alta frequência de imagem de 100 ou 380 Hertz, o que possibilita a captura de imagem até nos eventos mais rápidos, bem como a gravação de vídeos que permitem a análise da  $T_P$  em diferentes momentos. A Figura 6 apresenta dois modelos de câmeras termográficas utilizadas nos dias atuais.

**Figura 6.** Dois modelos de câmeras termográficas utilizadas nos dias atuais.



Fonte: Setor Termografia da Universidade Federal de Viçosa – Brasil.

## 2.2 Princípios físicos que norteiam a termografia infravermelha

Os objetos acima do zero absoluto ( $0\text{ K}$  ou  $-273,16^{\circ}\text{C}$ ) emitem radiação infravermelha devido à 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.

A TRI detecta a radiação infravermelha emitida pelos objetos ou pessoas, que é invisível ao olho humano, e a transforma em IT visíveis, convertendo em leituras de temperatura. As câmeras termográficas possuem lentes especiais que concentram a energia térmica, sendo processadas de forma a mostrar a IT em um display ou monitor de vídeo ao mesmo tempo em que a temperatura de cada pixel é calculada. Esse processo pode ser observado na Figura 7, onde o corpo humano

emite a radiação infravermelha, que é captada pela lente sensível ao infravermelho presente na câmera e a transforma em uma IT, permitindo a análise da  $T_P$ .

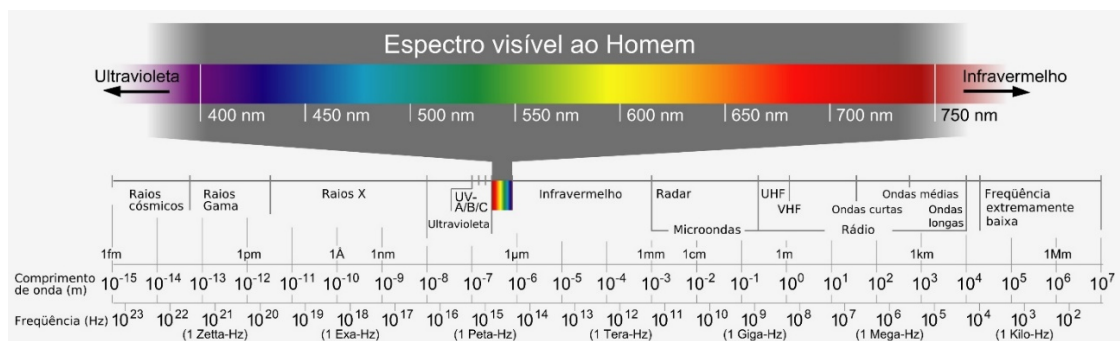
**Figura 7.** Processo de captação e formação das IT.



Fonte: Dados da pesquisa.

Dentro do espectro eletromagnético (Figura 8), a radiação infravermelha está localizada entre a região de radiação visível e a região de radiação de microondas.

**Figura 8.** Espectro eletromagnético.



Fonte: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromagnetic\\_spectrum-es.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromagnetic_spectrum-es.svg).

Diferentemente dos dois processos de propagação de calor (condução e convecção), a irradiação térmica não necessita de meio material para transmitir energia térmica. Dessa forma, a irradiação térmica pode ser definida como sendo a propagação de calor na qual a energia térmica é transmitida através de ondas eletromagnéticas. Dentre a diversidade de ondas eletromagnéticas, os raios infravermelhos são os que apresentam efeitos térmicos com maior intensidade. Nesse sentido, uma das leis da física mais importantes para compreensão dos processos físicos que norteiam a termografia é a de Stefan-Boltzmann, onde, na medida em que a energia térmica liberada pelo corpo aumenta, a temperatura aumenta à quarta potência (Figura 9) (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 [ $\text{Wm}^{-2}$ ];

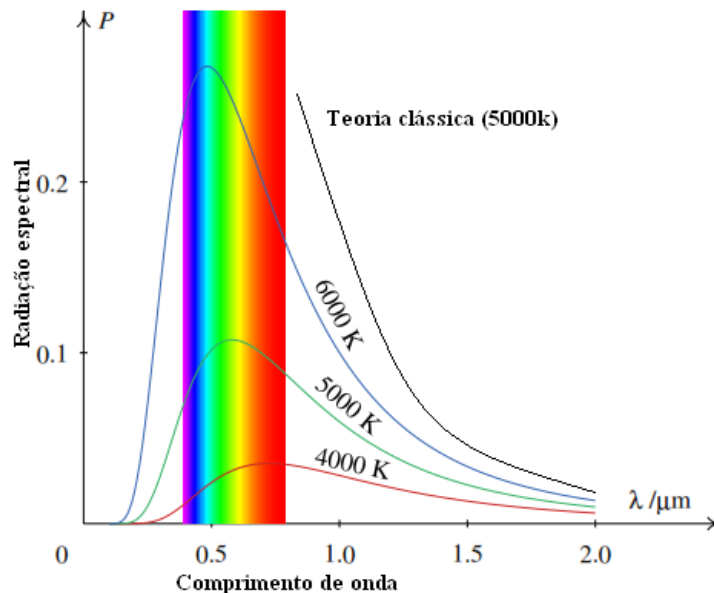
$\epsilon$ : Emissividade;

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

$A$  = Área da superfície do corpo irradiador.

$T$ : Temperatura absoluta em graus [K].

**Figura 9.** À medida que a temperatura aumenta, ocorre um aumento da área sob a curva do gráfico (lei de Stefan-Boltzmann).



Fonte: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Radia%C3%A7%C3%A3o\\_espectral.png?uselang=pt-br](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Radia%C3%A7%C3%A3o_espectral.png?uselang=pt-br).

Outra importante lei da física, a de Wien, estipula que o comprimento de onda que um corpo irradia energia é inversamente proporcional à sua temperatura, isto é, quanto mais quente estiver o corpo, menor será o comprimento de onda (Figura 10) (FELDENS *et al.*, 2010).

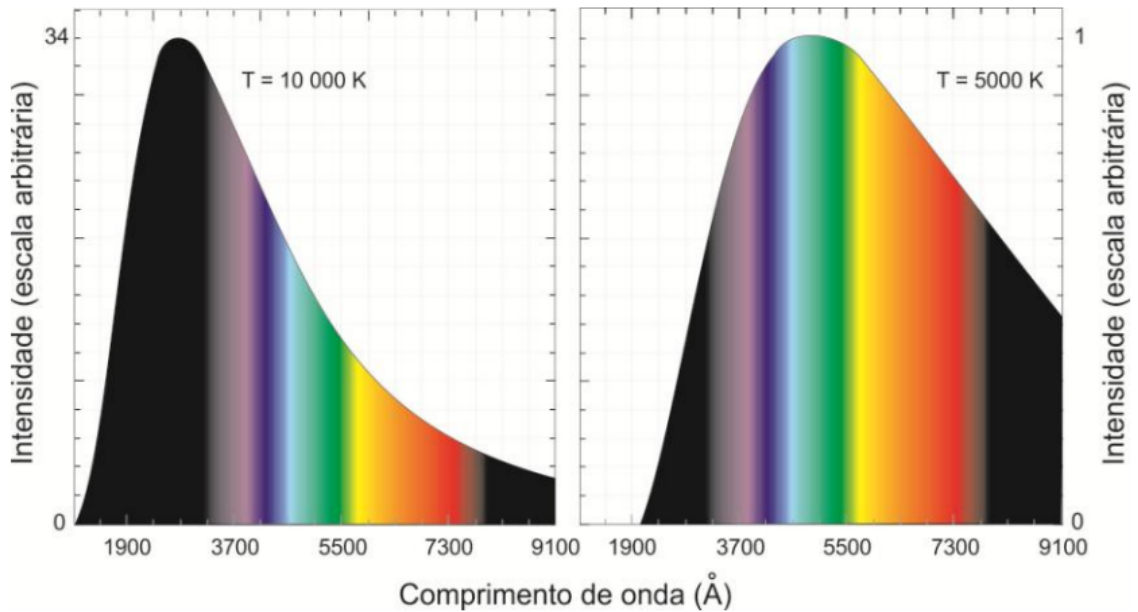
$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{b}{T}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Comprimento de onda (em metros) onde a intensidade da radiação eletromagnética é a máxima;

$T$ : Temperatura do corpo negro em kelvin [K];

$b$ : Constante de proporcionalidade,  $2.8977685 \times 10^{-3}$ .

**Figura 10.** Lei de Wien. Note como o pico da curva de menor temperatura ocorre em um comprimento de onda maior.



Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/~fatima/fis2010/Aula16-132.pdf>.

Ainda, é possível destacar a lei de Planck, que afirma que todo corpo emite um espectro de radiação e que determinado comprimento de onda possui sua temperatura específica (Figura 11) (FELDENS *et al.*, 2010).

$$\rho(\lambda) = \frac{2\pi hc^2 \lambda^{-5}}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

$\lambda$ : Comprimento de onda da radiação emitida;

$T$ : Temperatura [K];

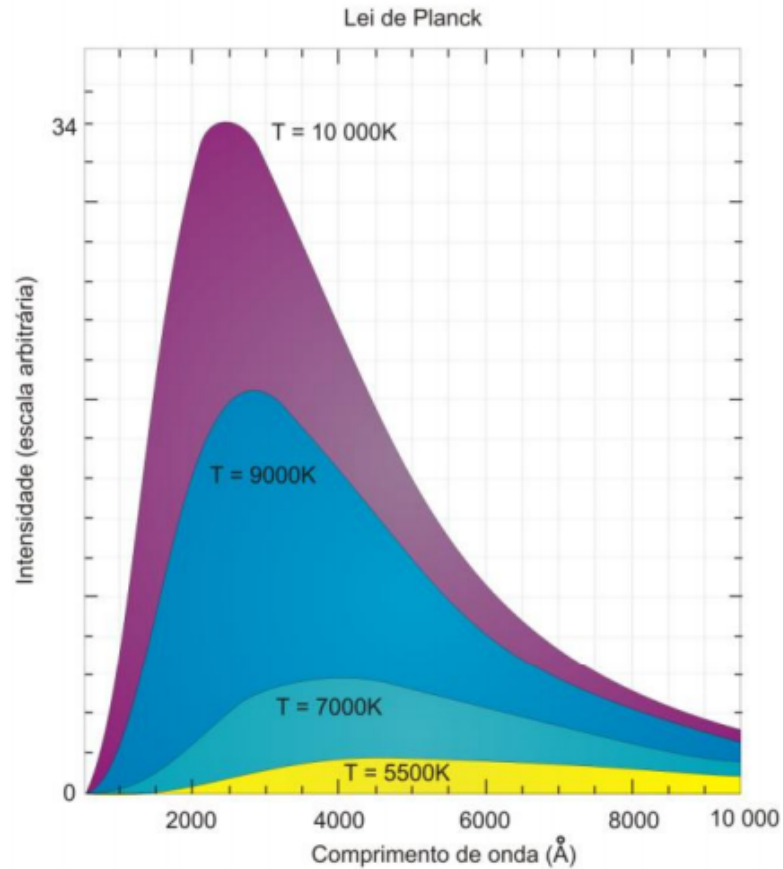
$\rho(\lambda)$ : Radiância para cada comprimento de onda, medida em [W/m<sup>2</sup>.m] (energia por unidade de tempo, por unidade de área e por unidade de comprimento de onda);

$h$ : Constante  $6,63 \times 10^{-34}$  J·s;

$c$ : Constante  $3,00 \times 10^8$  m/s;

$k$ : Constante  $1,38 \times 10^{-23}$  J/K.

**Figura 11.** Lei de Planck, que afirma que todo corpo emite um espectro de radiação e que determinado comprimento de onda possui sua temperatura específica.



Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/~fatima/fis2010/Aula16-132.pdf>.

### 2.3 Validade e reprodutibilidade da termografia infravermelha para medida da temperatura da pele

#### A- Validade

Pode ser definida como a pertinência ou adequação de determinado método (teste, aparelho) para informar sobre um fenômeno de interesse (FERNANDES e MARINS, 2011). No caso do TRI, a validade é a capacidade de estimar a  $T_P$  a partir da emissão de sua radiação infravermelha. Nesse sentido, a TRI é considerada uma técnica válida para medir a  $T_P$  (SHERMAN *et al.*, 1996; FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2015; FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2017b).

Além disso, a TRI é considerada uma ferramenta válida para o diagnóstico em diferentes patologias e lesões (FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2015; FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2017b), incluindo distrofia simpática reflexa (Bruehl *et al.*, 1996), fraturas por estresse (GOODMAN *et al.*, 1985), pneumotórax (Rich *et*

*al.*, 2004), patologias dermatológicas (GEORGE *et al.*, 2008) e diabetes (SIVANANDAM *et al.*, 2012).

É importante destacar que a maioria das câmeras infravermelhas apresenta precisão de 1°C ou 1%; entretanto, estes equipamentos são feitos originalmente para aplicação industrial, coleta em ambiente externo e abrangem uma larga faixa de temperatura, como por exemplo -20°C a 350°C, podendo ir até 3000°C. Assim, em condições de controle, normalmente encontradas nos locais de coleta de dados e laboratórios, esta precisão é por sua vez aumentada, o que contribui para obtenção de resultados mais precisos quando coletados em atletas.

## B- Reprodutibilidade

É utilizada para analisar a consistência da  $T_P$  ao longo do tempo, e está relacionada ao conceito de confiabilidade. Refere-se ao grau em que a medição apresenta o mesmo resultado em medidas repetidas, ou diferentes situações (diferentes avaliadores ou *software*) (FERNANDES; MARINS, 2011; FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2015; FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2017b). Assim, mesmo com a utilização de *softwares* que tradicionalmente são desenvolvidos para análises industriais, sendo as demarcações realizadas de forma manual, a TRI é considerada uma técnica confiável por apresentar baixa variação entre avaliadores diferentes (SELFE *et al.*, 2006; SPALDING *et al.*, 2008; PAULING *et al.*, 2012; FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2017b; FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2015). Em um estudo que avaliou a reprodutibilidade da  $T_P$  em três momentos, sendo duas com um intervalo de 5 segundos e outra com intervalo de 24 horas (FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2017b), o coeficiente de correlação intra-classe obtido entre os dois primeiros termogramas foi de 0,991.

Na comparação com 24 horas o coeficiente de correlação intra-classe foi de 0,989, com destaque para região central do corpo (abdominal, costas, peitoral, coxa e lombar) e menor nas regiões distais (mãos e pés) (FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2017b).



## 2.4 O sistema imune

A imunidade inata é considerada a primeira linha de defesa contra agentes infecciosos e está intimamente envolvida em danos nos tecidos, reparação e remodelação. Conceitualmente, a função imunológica pode ser dividida em imunidade inata e imunidade adaptativa, onde a principal diferença entre estas é que as respostas inatas não se fortalecem em cima da exposição repetida (não há função de memória) (CRUVINEL *et al.*, 2010; WALSH *et al.*, 2011; ABBAS *et al.*, 2012). Os principais componentes da imunidade inata são barreiras epiteliais da pele, trato gastrointestinal e trato respiratório, que impedem a entrada de microrganismos, apresentado como as principais células efetoras os neutrófilos, macrófagos, células dendríticas e células *Natural Killer* (NK), além de várias proteínas plasmáticas circulantes, das quais as mais importantes são as proteínas do sistema de complemento (CRUVINEL *et al.*, 2010; WALSH *et al.*, 2011; ABBAS *et al.*, 2012).

A resposta imune inata é capaz de prevenir e controlar muitas infecções. Entretanto, determinados microrganismos patogênicos modificam-se e adaptam-se com objetivo de ultrapassar as defesas iniciais. A proteção contra essas infecções requer uma atuação efetiva do sistema imune adaptativo, que conta com a atuação dos linfócitos que podem ser agrupados em: linfócitos B e os linfócitos T. Dessa maneira, a junção das respostas imunes inata e adaptativa forms um sistema de defesa muito eficaz (CRUVINEL *et al.*, 2010; WALSH *et al.*, 2011; ABBAS *et al.*, 2012).

Na sequência, apresentaremos a importância do sistema imunológico e suas respostas específicas advindas da realização do exercício físico, em especial o com elevado componente excêntrico observado nas partidas de futebol profissional e que, por sua vez, está diretamente relacionado com o aumento da  $T_P$  observado após as partidas de futebol.

## 2.5 Processos inflamatórios nas microlesões e reparo muscular

No processo inflamatório é possível identificar os quatro sinais cardinais, que podem ser descritos como: calor, vermelhidão (rubor), inchaço (tumor) e dor. Estes sinais foram nomeados por Celsus na Roma antiga (30-38 A. C) (PUNCHARD *et al.*,

2004). A sensação de calor é causada pela vasodilatação cutânea com maior fluxo sanguíneo, apresentando maior temperatura por ser redirecionado das áreas mais internas do tecido. Fenômeno esse que, por sua vez, resulta no aumento da vermelhidão (devido ao adicional número de eritrócitos que passam através da área danificada) (PUNCHARD *et al.*, 2004; PAULSEN *et al.*, 2012). Já o inchaço é o resultado do aumento da passagem de líquido dos vasos sanguíneos dilatados e permeáveis para tecidos circundantes e infiltração de células no tecido danificado. O alongamento e até mesmo a perda da função de terminações nervosas sensoriais, além de efeitos diretos de mediadores inflamatórios, resultam na sensação percebida de dor. Ademais, é importante relatar que existe perda de função de mobilidade no local lesionado, muito em decorrência da sensação de dor (PUNCHARD *et al.*, 2004; PAULSEN *et al.*, 2012).

Nos dias atuais, é reconhecido que todo o processo inflamatório é muito mais complexo do que pode parecer a partir da simples descrição citada. Assim, é conhecido que o processo inflamatório envolve as principais células do sistema imunitário, incluindo neutrófilos, macrófagos, células NK, dentre outras. Estas ações são controladas por diferentes mediadores extracelulares, incluindo citocinas, fatores de crescimento, os eicosanóides (prostaglandinas, leucotrienos, etc) (PUNCHARD *et al.*, 2004).

A resposta inflamatória com vistas à regeneração muscular pode ser dividida em três fases: 1º) destruição (caracterizada pela necrose das miofibrilas e reação inflamatória); 2º) reparação (caracterizada pela remoção do tecido necrosado e posterior reparação das miofibrilas); 3º) remodelação (caracterizada pela reorganização do tecido lesado) (JÄRVINEN *et al.*, 2005; TURNER; BADYLAK, 2011).

O exercício físico representa bom modelo de estimulação do sistema imune. Desta forma, a fase de destruição pode ser observada após o treinamento intenso ou partidas, onde o tecido muscular é danificado devido a uma ação metabólica e mecânica, sendo de maior magnitude nas atividades com elevado componente excêntrico (PEAKE *et al.*, 2005; BRANCACCIO *et al.*, 2007; BRANCACCIO *et al.*, 2008; BRANCACCIO *et al.*, 2010; BANFI *et al.*, 2012; PAULSEN *et al.*, 2012).

A participação em uma partida de futebol provoca danos teciduais localizados a partir da degeneração do sarcômero, rupturas dos miofilamentos de miosina e

fragmentação da linha Z. A linha Z encontra-se localizada na extremidade do sarcômero, formando a junção entre um sarcômero e outro, que possui ainda os filamentos finos de actina que contribuem para sua fixação (PEAKE *et al.*, 2005; BRANCACCIO *et al.*, 2007; BRANCACCIO *et al.*, 2008; BRANCACCIO *et al.*, 2010; BANFI *et al.*, 2012; PAULSEN *et al.*, 2012).

A realização do exercício resulta em danos diretos e indiretos na membrana celular do tecido muscular, o que leva ao extravasamento de componentes musculares intracelulares no líquido extracelular. Dentre as proteínas encontradas após o exercício, algumas têm sido indicadas como marcadores indiretos de microlesões musculares, com destaque para a CK, mioglobina e lactato desidrogenase (BRANCACCIO *et al.*, 2007; BRANCACCIO *et al.*, 2008; BRANCACCIO *et al.*, 2010; BANFI *et al.*, 2012; PAULSEN *et al.*, 2012).

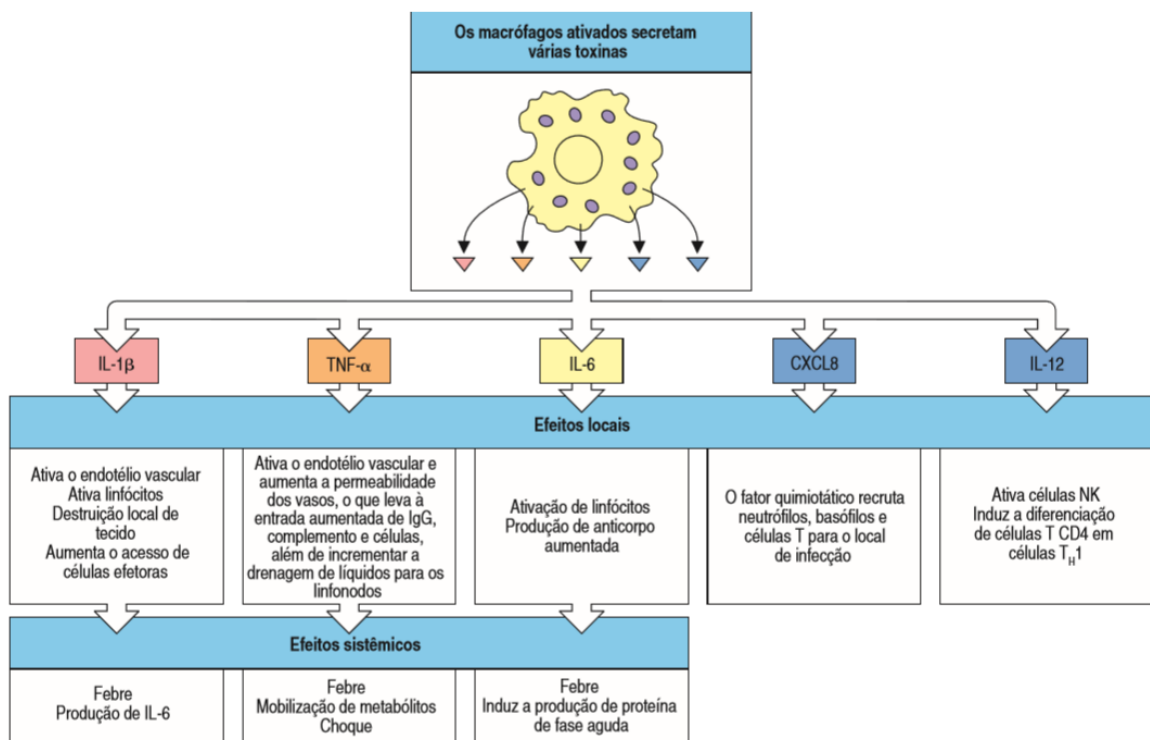
O processo inflamatório nesta fase está associado a aumentos significativos no fluxo sanguíneo do tecido lesionado, refletindo uma reação inicial das células endoteliais presentes nas arteríolas locais e a uma rápida libertação de mediadores vasoativos (histamina, bradicinina, neuropeptídios, prostaglandinas), além da produção do óxido nítrico que relaxa a musculatura vascular lisa (PETRI *et al.*, 2008; ZHANG, 2008).

Durante o processo inflamatório, onde a vasodilatação está presente no tecido lesionado, a velocidade do fluxo sanguíneo é reduzida, permitindo assim que as células circulantes interajam mais comumente com as células endoteliais, que expressam moléculas de superfície capazes de se ligar aos leucócitos (CRUVINEL *et al.*, 2010; ABBAS *et al.*, 2012). A ativação destas células endoteliais é ocasionada por citocinas como a interleucina 1 beta (IL-1 $\beta$ ), interleucina 6 (IL-6) e fator de necrose tumoral (TNF- $\alpha$ ), componentes ativos do sistema complemento e histamina. Por esse motivo, essas citocinas são comumente utilizadas no monitoramento de respostas imunes em protocolos de exercício (MOHR *et al.*, 2016).

Na fase de reparação, a remoção do tecido necrosado é fundamental. Nesse sentido, os locais onde existem microlesões geradas pelo exercício são rapidamente invadidos pelos neutrófilos, que contribuem basicamente com uma ação fagocitária, limpando os tecidos necrosados, e pelos macrófagos, que atuam ampliando os processos inflamatórios através da liberação de citocinas pró-inflamatória, tais como IL-1 $\beta$ , IL-6, interleucina 12, TNF- $\alpha$ , e a quimiocina CXCL8 (formalmente conhecida

como IL-8). (PEAKE; SUZUKI, 2004; SMITH *et al.*, 2008; TIDBALL; RINALDI, 2012; NOVAK; KOH, 2013). Todas estas que apresentam importantes efeitos locais e sistêmicos, e contribuem para a imunidade inata e adaptativa estão resumidas na Figura 12.

**Figura 12.** Citocinas secretadas pelos macrófagos em resposta ao processo inflamatório incluindo IL-1 $\beta$ , IL-6, CXCL8, IL-12 e TNF- $\alpha$ .



Fonte: MURPHY *et al.*, 2010.

A TNF- $\alpha$  é um indutor de resposta inflamatória local que ajuda a conter as infecções. Já a quimiocina CXCL8 auxilia no recrutamento de neutrófilos para os locais de infecção. A IL-1 $\beta$ , IL-6 e TNF- $\alpha$  desempenham um papel crítico na indução da resposta inflamatória de fase aguda, e induzem à febre, o que favorece a defesa efetiva do organismo. A IL-12 ativa as células NK e favorece a diferenciação das células T CD4<sup>+</sup> em T<sub>H</sub>1 durante a atuação do processo de imunidade adaptativa (MURPHY *et al.*, 2010).

Num primeiro momento, os neutrófilos, que têm como objetivo reconhecer, ingerir através da fagocitose e destruir o tecido lesado, são rapidamente recrutados para os sítios de infecção e de lesão tecidual, acompanhados por um segundo aumento horas mais tarde, onde sua magnitude está relacionada com a intensidade

e duração do exercício (PEAKE, 2002; TIDBALL; RINALDI, 2012). O aumento inicial é provavelmente devido à ação das catecolaminas e da IL-6, enquanto que o segundo aumento pode ser devido à ação do cortisol e a uma libertação induzida de neutrófilos a partir da medula óssea (PEAKE, 2002; TIDBALL, 2005; WALSH *et al.*, 2011).

Além disso, o fator de ativação de plaquetas, que é resultado das respostas inflamatórias sistêmicas geradas por fagócitos, células endoteliais e plaquetas, tem sido relacionado ao acionamento dos neutrófilos em resposta à inflamação tecidual (TIDBALL; RINALDI, 2012). O fator de ativação de plaquetas é um forte indutor da ativação de neutrófilos presentes na circulação sanguínea, em decorrência da inflamação causadas pelas microlesões provocadas pelo exercício físico com elevada característica excêntrica (MILIAS *et al.*, 2005; TIDBALL; RINALDI, 2012).

A ativação dos neutrófilos resulta na liberação de proteases lisossomais e produção de radicais livres, conhecidos como espécies reativas de oxigênio que auxiliam na depuração do tecido danificado (WIEDOW e MEYER-HOFFERT, 2005). As espécies reativas de oxigênio geradas e a ativação dos neutrófilos são resultados de um complexo enzimático multicomponente localizado na membrana plasmática da nicotinamida adenina dinucleotídeo-fosfato, responsável pela produção de ânion superóxido em uma “explosão respiratória” (*burst respiratório*), caracterizado por rápido aumento no consumo de oxigênio (PEAKE; SUZUKI, 2004; WALSH *et al.*, 2011).

Embora a fagocitose e o *burst* respiratório sejam mecanismos importantes na fase inicial da resposta inflamatória às microlesões musculares, eles podem danificar a área lesionada ainda mais, o que pode resultar em danos ao tecido saudável circundante (SMITH *et al.*, 2008). Assim, essa resposta mediada pelos neutrófilos deve ser bem regulada para preservar a integridade dos tecidos ao redor do local danificado (TIDBALL, 2005; SILVA; MACEDO, 2011).

Ainda contribuindo para remoção dos tecidos necrosados, temos também a ação dos monócitos, que são os precursores circulantes dos macrófagos teciduais. Todos os tecidos contêm macrófagos residentes, que são células fagocitárias que ingerem e matam microrganismos, além de secretar citocinas e quimiocinas que promovem o recrutamento de leucócitos do sangue (ABBAS *et al.*, 2012). A resposta aos microrganismos patogênicos apresentada pelos macrófagos é tão rápida quanto

a dos neutrófilos, porém, persiste por mais tempo no local da inflamação. Ademais, eles podem ser considerados como dominantes nos estágios mais tardios da resposta imune inata (PEAKE; SUZUKI, 2004; WALSH *et al.*, 2011).

O exercício agudo resulta em monocitose com duração de aproximadamente 2 horas. Este aumento pode ser resultado da ação do cortisol ou de catecolaminas liberadas a partir do endotélio vascular (WALSH *et al.*, 2011). Sobre as funções moduladas, são relatados aumentos como quimiotaxia, fagocitose e atividade citotóxica, possivelmente associados à secreção aumentada de cortisol, prolactina e tiroxina (COSTA; VAISBERG, 2002).

Os macrófagos constituem a segunda subpopulação de leucócitos a aparecer no tecido danificado, sendo que estes podem desempenhar diferentes papéis na resposta inflamatória, podendo ser divididos em ativação clássica ou alternativa, M1 e M2 respectivamente (ALEGRANCI *et al.*, 2013; ITALIANI; BORASCHI, 2014; MARTINEZ; GORDON, 2014). As células M1 contribuem mais ativamente para os processos de fagocitose, enquanto que as células M2 ajudam a promover a angiogênese, remodelação e reparação de tecidos (ALEGRANCI *et al.*, 2013; ITALIANI; BORASCHI, 2014; MARTINEZ; GORDON, 2014).

Logo após a chegada dos neutrófilos no músculo lesionado, o tecido começa a ser invadido por macrófagos, resultando em uma significativa elevação de seus números no tecido lesionado por 12-24 horas (TEIXEIRA *et al.*, 2003; SHIREMAN *et al.*, 2007). Esta invasão de macrófagos M1 é resultado da ativação de diferentes citocinas, especialmente TNF- $\alpha$  e interferon gama (ALEGRANCI *et al.*, 2013; ITALIANI; BORASCHI, 2014; MARTINEZ; GORDON, 2014).

Os macrófagos M1 expressam enzimas que geram elevados níveis de radicais livres. Sendo assim, o óxido nítrico que é gerado pelo óxido nítrico *sintase* induzível são igualmente citotóxicos no músculo lesado, podendo atuar para amplificar o dano tecidual (VILLALTA *et al.*, 2009; TIDBALL; RINALDI, 2012; MARTINEZ; GORDON, 2014).

Evidências sugerem o efeito pró-regenerativo dos macrófagos, mais especificamente os M2, que têm sido associados com a reparação e regeneração muscular (TIDBALL; RINALDI, 2012; ALEGRANCI *et al.*, 2013; ITALIANI; BORASCHI, 2014). No tecido lesado existe um aumento significativo em seu

número, que coincide com a fase em que a regeneração muscular avança rapidamente (TIDBALL; WEHLING-HENRICKS, 2007; SILVA; MACEDO, 2011).

Uma ação que contribui para o reparo e crescimento do tecido lesado é a ação da TNF- $\alpha$  no compartimento muscular, existindo a sua ligação aos mioblastos (células precursoras das fibras musculares) e ativando o fator nuclear kappa base, que aumenta a proliferação celular e suprime vários processos degenerativos que operam em paralelo (LOELL; LUNDBERG, 2011; TIDBALL; RINALDI, 2012). A ativação do fator nuclear kappa base aumenta a expressão da ciclina D1, que também pode contribuir para o aumento da proliferação celular (GUTTRIDGE *et al.*, 1999; JOYCE *et al.*, 2001; TIDBALL; RINALDI, 2012).

Assim, a TNF- $\alpha$  pode contribuir para promoção de processos aparentemente conflitantes, aumentando o dano muscular por suas ações através do compartimento mielóide, sendo, pois, crucial no direcionamento do fenótipo de macrófagos M1. Ela também desempenha um papel central na promoção da reparação tecidual através de ações sobre o compartimento muscular, em especial dos macrófagos M2 (TIDBALL; RINALDI, 2012).

Ainda nesta fase, as células dendríticas auxiliam na remoção do tecido necrosado. Estas células estão presentes em todos os tecidos, sendo especializadas na captura de antígenos microbianos, transporte para os tecidos linfóides e apresentação para o reconhecimento por linfócitos T. São consideradas uma ligação entre a imunidade inata e a adaptativa, sendo atraídas e ativadas por elementos da resposta inata e viabilizando a sensibilização dos linfócitos T presentes na resposta imune adaptativa (CRUVINEL *et al.*, 2010).

Segundo Walsh *et al.* (2011), as respostas das células dendríticas ao exercício agudo têm recebido pouca atenção, mesmo apresentando um papel importante na iniciação de respostas imunitárias. Nesse sentido, poucos estudos tiveram esse objetivo, entretanto os resultados apresentados até o momento indicam que o exercício pode aumentar o número de células dendríticas circulantes (HO *et al.*, 2001; WALSH *et al.*, 2011).

Contribuindo também nessa fase do processo inflamatório, é possível as células NK que podem ser consideradas uma classe distinta de linfócitos que não apresentam receptores específicos para determinado antígeno, mas apresentam funções importantes na imunidade inata. As células NK reconhecem os tecidos

lesados e respondem destruindo-os, produzindo também o interferon gama, que ativa os macrófagos trabalhando em conjunto para eliminar os antígenos microbianos (ABBAS *et al.*, 2012).

No exercício, as células NK apresentam grandes alterações durante e imediatamente após o encerramento do mesmo, podendo variar de 150 a 300%, provavelmente em decorrência de uma maior densidade de receptores  $\beta$ -adrenérgicos em sua superfície celular (CRUVINEL *et al.*, 2010; WALSH *et al.*, 2011). Com o término do exercício, após um período de aproximadamente 30 minutos, há retorno aos níveis pré-exercício, possivelmente por ação do cortisol; e após um período de uma a duas horas, há a queda para valores de 25 a 40% do inicial, apresentando como uma possível explicação a secreção de prostaglandinas por neutrófilos e macrófagos ou influência hormonal (CRUVINEL *et al.*, 2010).

Durante o processo inflamatório gerado pelas microlesões musculares é possível observar também a ação do sistema imunitário adaptativo, caracterizado pela mobilização dos linfócitos T e B. Todo o desenvolvimento dos linfócitos B ocorre na medula óssea, enquanto os precursores dos linfócitos T migram e sofrem maturação no timo. Após maturação, os linfócitos B e T deixam a medula óssea e o timo, respectivamente, entram na circulação sanguínea e são direcionados aos órgãos linfoides periféricos. Os linfócitos T e B expressam receptores altamente diversificados e específicos para determinado antígeno. Além disso, são responsáveis pela memória das respostas imunológicas adaptativas (MESQUITA *et al.*, 2010; ABBAS *et al.*, 2012).

Os linfócitos B efetores são células secretoras de imunoglobulinas de membrana, IgM e IgG. As células T efetoras incluem as células T (CD4+) auxiliares, secretoras de citocinas, e as (CD8+) (Mesquita Júnior *et al.*, 2010). Durante e após o exercício agudo, os linfócitos T (CD8+) podem apresentar um aumento de 50 a 100%, retornando rapidamente a níveis pré-exercício nas fases iniciais de recuperação, enquanto que o linfócito T (CD4+) e os linfócitos B mostram poucas alterações (COSTA; VAISBERG, 2002; LOELL; LUNDBERG, 2011).

De forma geral, após a realização do exercício agudo existe em uma depressão de vários aspectos da função imunológica adquirida. Esta depressão é transitória, sendo que os números de células e funções retornam aos valores pré-exercício em até 24h (WALSH *et al.*, 2011). Um ponto interessante em relação à



recuperação é que se esta for insuficiente entre as sessões de treinamento e jogos, como normalmente se observa em atletas de elite, a redução temporária da função das células T e B pode se tornar uma depressão crônica da imunidade adquirida. Estes efeitos, combinados as pequenas alterações no sistema imune, podem comprometer a resistência, levando a um quadro de imunossupressão transitória, o que aumenta a susceptibilidade às infecções do trato respiratório superior em atletas (GLEESON, 2007; WALSH *et al.*, 2011). A causa dessa depressão na imunidade adquirida parece estar relacionada principalmente com a elevação do cortisol e alterações no equilíbrio das citocinas pró/anti-inflamatória em resposta ao exercício (COSTA; VAISBERG, 2002; WALSH *et al.*, 2011).

Avançando para fase de remodelação, é importante destacar que existe uma forte ligação com a fase de reparação, existindo uma sobreposição entre as mesmas (FERNANDES *et al.*, 2011). Nesta fase acontece a maturação do tecido muscular regenerado ou reparado, incluindo reorganização da vasculatura e da matriz extracelular. A revascularização do tecido lesionado é um processo fundamental na reparação e remodelação tecidual, onde os novos capilares sanguíneos brotam dos troncos sobreviventes em direção às áreas lesionadas (BAOGE *et al.*, 2012; NOVAK; KOH, 2013). O estímulo para ocorrência deste fenômeno advém do próprio tecido lesionado, em especial com a expressão do fator de crescimento endotelial vascular resultando na proliferação e reorganização das células endoteliais vasculares (PRIOR *et al.*, 2004). O fator de crescimento endotelial vascular é um potente mitógeno das células endoteliais, que tem sido relacionado diretamente à proliferação vascular após o dano muscular, sendo que todo este processo contribui para o aumento da atividade metabólica (PRIOR *et al.*, 2004).

Os fatores de crescimento que estimulam a proliferação e diferenciação das células musculares progenitoras são essenciais no processo de remodelação tecidual. Além disso, a sequência da liberação dos fatores de crescimento parece ser importante para o controle da reparação muscular (HAYASHI *et al.*, 2004; TURNER; BADYLAK, 2011). Os principais fatores de crescimento incluem o fator de crescimento do hepatócito, o fator de crescimento fibroblástico básico, o fator de crescimento insulínico-I, o fator de crescimento derivado de plaquetas e o fator de crescimento do endotélio vascular (TURNER; BADYLAK, 2011; SNIJDERS *et al.*, 2015).

Em geral, verifica-se que o fator de crescimento insulina-1 e fator de crescimento do hepatócito são os principais fatores de crescimento envolvidos na regulação da reparação do músculo esquelético lesionado. Entretanto, determinados fatores de crescimento podem inibir esse processo de regeneração muscular como, por exemplo, o fator de crescimento de transformação *beta-1*, que diminui a proliferação celular e diferenciação, além de inibir recrutamento de mioblastos (KOLLIAS; MCDERMOTT, 2008; TURNER; BADYLAK, 2011; SNIJDERS *et al.*, 2015). Além disso, o fator de crescimento de transformação *beta-1* induz a formação de cicatriz através da estimulação dos fibroblastos, o que limita a regeneração muscular (JÄRVINEN *et al.*, 2005; TEN BROEK *et al.*, 2010; TURNER; BADYLAK, 2011; SNIJDERS *et al.*, 2015)

No músculo esquelético existem pelo menos duas grandes populações de células satélites que irão proliferar e diferenciar-se em mioblastos (JÄRVINEN *et al.*, 2005; TEN BROEK *et al.*, 2010; BAUGE *et al.*, 2012; NOVAK; KOH, 2013). As células satélites consideradas "clássicas" são aquelas que residem sob a lâmina basal da fibra muscular e estão prontas para começar a diferenciação de mioblastos imediatamente após as microlesões musculares (RANTANEN *et al.*, 1995; JÄRVINEN *et al.*, 2005; TEN BROEK *et al.*, 2010). As células-tronco satélites se submetem à primeira divisão antes da diferenciação celular, e é através desta divisão celular (proliferação) a população de células-tronco satélites cresce muito e repõe a reserva de células satélites para possíveis demandas futuras de regeneração (JÄRVINEN *et al.*, 2005; TEN BROEK *et al.*, 2010). Assim, as células satélites migram e diferenciam-se, tornando-se mioblastos, que se fundem com outros mioblastos ou com as miofibrilas existentes para formar um novo tecido muscular esquelético.

Na fase final do processo de remodelação pode ocorrer a reinervação das fibras musculares regeneradas, caso a inervação tenha sido comprometida. Esta ação resulta no restabelecimento da funcionalidade contrátil das fibras, ocorrendo assim uma reorganização completa do tecido danificado, o que garante o retorno da capacidade funcional do músculo (JÄRVINEN *et al.*, 2005; TEN BROEK *et al.*, 2010).

Assim, todo esse processo de resposta imunológica ao exercício aqui apresentado contribui de forma decisiva para um aumento da  $T_P$  registrado nos membros inferiores de atletas de futebol, conforme pode ser observado no estudo de

Fernandes *et al.* (2017), onde esta parece ser uma condição e normal para atletas de alto rendimento após a participação em uma partida oficial, podendo ser justificado em função do processo inflamatório elevado observado após as partidas.

## 2.6 Temperatura interna, muscular e o jogo de futebol

O controle neuronal da temperatura corporal é alcançado através de termorreceptores que detectam suas alterações, tanto centralmente no hipotálamo, bem como periféricamente na pele (WENDT *et al.*, 2007; GAGNON; KENNY, 2012). Os termorreceptores periféricos são responsáveis pela transmissão de informações aferentes à área pré-ótica e ao hipotálamo anterior, onde ocorre a integração de sinais térmicos originados das diferentes partes do corpo (WENDT *et al.*, 2007; GAGNON; KENNY, 2012). A integração destas informações resulta no envio de sinais térmicos eferentes para os órgãos efetores, responsáveis pelo ganho de calor, ou pela perda do mesmo. Assim, durante a realização do exercício, importantes respostas eferentes ocorrem, tais como aumentos da vasodilatação cutânea e da atividade de sudomotora que têm como objetivo colaborar para dissipação do calor, contribuindo para a regulação da temperatura corporal (JOHNSON, 2010; JOHNSON; KELLOGG, 2010).

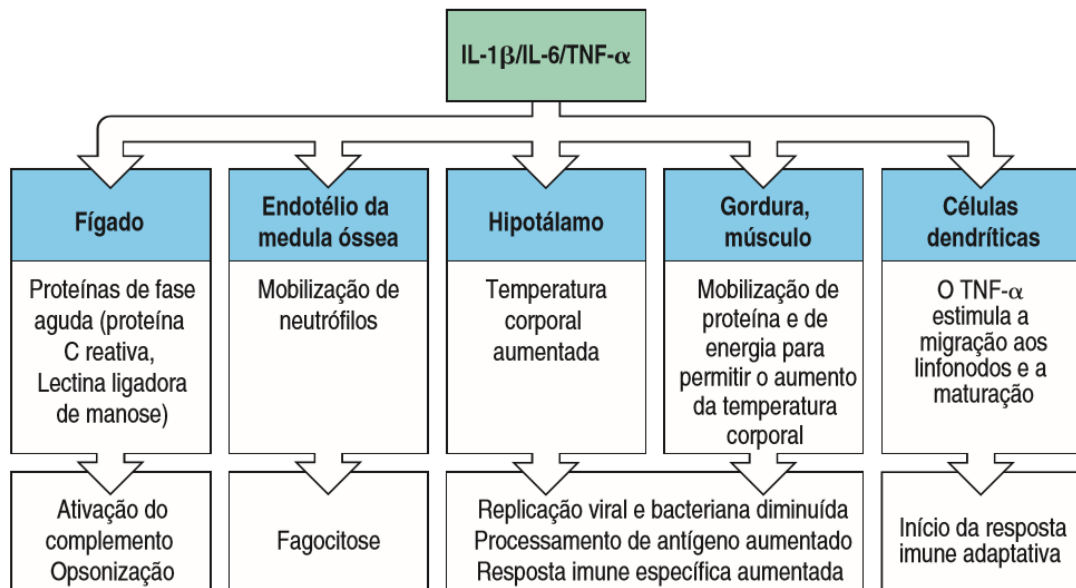
A realização do exercício físico promove a transformação da energia química armazenada em energia motriz e térmica, onde há o aumento na produção de calor que, na maioria dos casos, não consegue ser compensado pela dissipação do calor, resultando em elevação da temperatura corporal, em especial da musculatura ativa (WENDT *et al.*, 2007; JOHNSON; KELLOGG, 2010). Em conjunto, o sangue arterial é redirecionado para pele com objetivo de perder calor para o meio ambiente, auxiliando a manter a temperatura interna ( $T_i$ ) dentro de limites de segurança (WENDT *et al.*, 2007; JOHNSON; KELLOGG, 2010).

A perda de calor metabólico ocorre por quatro formas: condução, radiação, convecção e evaporação (KENNY; JOURNEAY, 2010). Dependendo das condições climáticas, a evaporação é a principal forma de resfriamento corporal a partir da produção da sudorese (SHIBASAKI *et al.*, 2006; CHARKOUDIAN, 2010). Quando o suor evapora, proporciona uma redução da  $T_p$ . Dessa forma, o sangue proveniente das regiões mais profundas do corpo é resfriado ao circular pela pele, retornando em

menor temperatura, o que ajuda controle da  $T_i$  (SHIBASAKI *et al.*, 2006; CHARKOUDIAN, 2010; JOHNSON, 2010; JOHNSON; KELLOGG, 2010).

A realização do exercício físico, em especial o com elevado componente excêntrico como observado durante uma partida de futebol, resulta na liberação de diferentes citocinas que interferem diretamente na regulação da  $T_i$  (FEHRENBACH; SCHNEIDER, 2006; SILVA; MACEDO, 2011; ABBAS *et al.*, 2012). Nesse momento, um dos efeitos mais importantes é o início de uma reação conhecida como resposta de fase aguda, cujas principais citocinas pró-inflamatórias liberadas são a TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$  e IL-6. Este processo pode ser identificado na Figura 13 (FEHRENBACH; SCHNEIDER, 2006; MURPHY *et al.*, 2010; SILVA; MACEDO, 2011; ABBAS *et al.*, 2012). Essas citocinas são denominadas pirógenos endógenos, pois causam febre e derivam de uma fonte endógena, e não de componentes bacterianos como um pirógeno exógeno. Os pirógenos endógenos causam febre por induzir a síntese de prostaglandinas E2 pela enzima cicloxigenase-2, a expressão na qual é induzida por essas citocinas. A prostaglandina-2, então, atua no hipotálamo, resultando em aumento da produção de calor e conseqüente no aumento da  $T_i$  (FEHRENBACH; SCHNEIDER, 2006; MURPHY *et al.*, 2010).

**Figura 13.** A IL-1, a IL-6 e a TNF- $\alpha$  também são pirógenos endógenos, que atuam elevando a temperatura corporal.



Fonte: MURPHY *et al.*, 2010.

Dessa maneira, a participação em uma partida de futebol tem potencial efeito para provocar aumentos consideráveis na  $T_I$ , bem como na temperatura muscular ( $T_M$ ). Mohr *et al.* (2004) analisaram a  $T_I$  durante uma partida de futebol amistosa em atletas da quarta divisão Dinamarquesa, sendo relatado uma  $T_I$  no repouso de  $37,2 \pm 0,1$  °C elevando-se para  $39,0 \pm 0,2$  °C ao final do primeiro tempo;  $38,8 \pm 0,1$  °C ao final da partida; e retornando a valores próximos ao do repouso 15 minutos após o término da partida  $37,8 \pm 0,1$  °C. Aumentos semelhantes da  $T_I$  ao final do primeiro e segundo tempos de jogo foram relatados no estudo de Edwards e Clark (2006), que possuía como amostra atletas da segunda divisão do campeonato inglês, sendo os dados coletados em uma partida amistosa. Além do estudo de Lovell *et al.* (2007), onde a amostra foi composta por atletas da categoria de base de um clube da terceira divisão do campeonato Inglês. Também no estudo de Guerra *et al.* (2004) a  $T_I$  antes do treinamento foi de  $37,3 \pm 0,2$  °C, aumentando para  $39,4 \pm 0,4$  °C após o jogo, em uma amostra composta por atletas profissionais submetidos a um treinamento coletivo, sendo que o segundo tempo apresentou duração de apenas 30 minutos.

Ozgunen *et al.* (2010) estudaram as repostas da  $T_I$  quando uma partida de futebol amistosa é realizada em um ambiente com temperatura média de  $34,0 \pm 1,0$

°C e umidade relativa  $38,0 \pm 2,0$  %, frente outra realizada em um ambiente com temperatura quente de  $36,0 \pm 0,0$  °C e umidade relativa  $61,0 \pm 1,0$  %, em uma amostra advinda de atletas semiprofissionais. Os resultados apontam diferenças significativas nos valores da  $T_I$ , sendo que os maiores são registrados quando a partida é disputada em um ambiente quente e úmido  $39,6 \pm 0,3$  °C, frente a  $39,1 \pm 0,4$  °C, quando disputada em ambiente com menor temperatura e menor umidade. Esta diferença nos resultados é explicada pelo fato do exercício ter sido realizado em um ambiente quente e úmido, o que dificulta a perda de calor por evaporação e, por sua vez, resulta em aumentos da  $T_I$  (OZGUNEN *et al.*, 2010).

Mohr *et al.* (2012) desenvolveram um estudo onde a  $T_I$  e a  $T_M$  foi monitorada durante a realização do jogo de futebol em duas condições ambientais distintas, sendo uma em ambiente temperado, com temperatura ( $\cong 21$  °C) e umidade relativa 55% e em outra ambiente quente ( $\cong 43$  °C) e umidade relativa 12%. A amostra do estudo foi composta por atletas profissionais de dois países escandinavos (Ilhas Faroé e Dinamarca). Os resultados apontam que a  $T_M$  e  $T_I$  são, em média, 1 °C mais elevada em ambiente quente ( $40,3 \pm 0,1$  e  $39,5 \pm 0,1$  °C, respectivamente) em comparação com o ambiente temperado ( $39,2 \pm 0,1$  e  $38,3 \pm 0,1$  °C).

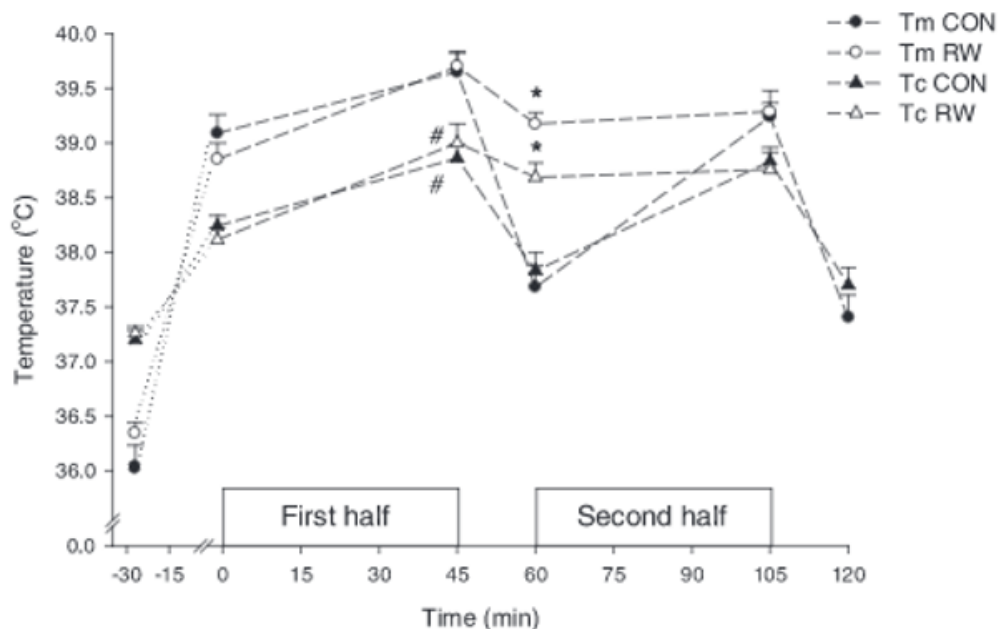
De forma geral, os estudos indicam que a  $T_I$  durante uma partida de futebol pode variar de  $39,0$ - $39,5$  °C (MOHR *et al.*, 2005), o que pode representar aumentos de ( $\cong 2$  °C) em comparação com o repouso. Entretanto, em alguns estudos foram registrados valores individuais acima de 40 °C (MOHR *et al.*, 2005; OZGUNEN *et al.*, 2010). É conhecido que a elevação da  $T_I$  a tais níveis e em conjunto com um quadro de desidratação pode resultar em colapsos devido à exaustão causada pelo calor (OZGUNEN *et al.*, 2010).

Mohr *et al.* (2004) também estudaram o efeito do jogo frente à  $T_M$ , sendo relatado aumentos na  $T_M$  passando de  $36,0 \pm 0,2$  °C no repouso, para  $39,4 \pm 0,1$  °C no intervalo do primeiro tempo e  $39,2 \pm 0,1$  °C no final da partida, existindo uma redução acentuada após 15 minutos do término do jogo  $37,4 \pm 0,2$  °C. Um resultado semelhante foi observado no estudo de Lovell *et al.* (2013), onde durante a realização de um protocolo que simula uma partida de futebol a  $T_M$  sempre esteve entre  $39,0$ - $40,0$  °C, o que pode representar aumentos de ( $\cong 4$  °C) em comparação com o repouso. Na Figura 14 é apresentado o comportamento da  $T_I$  e  $T_M$  durante a realização de uma partida de futebol.

De acordo com os resultados apresentados, observa-se que a  $T_i$  retorna a valores pré-exercício nos momentos iniciais da recuperação. Entretanto, a  $T_M$  parece persistir com valores superiores ao pré-exercício por um tempo mais prolongado. Nos estudos de Kenny *et al.* (2003) e Flouris *et al.* (2015) foram relatados valores superiores ao pré-exercício por até 2 horas após o término do exercício. Em pesquisa eletrônica nos periódicos científicos especializados não foi encontrado estudo que avaliou o comportamento da  $T_M$  por um tempo maior que 2 horas. Kenny *et al.* (2003) observaram que a  $T_M$  apresenta valores mais elevados na medida em que é mensurada em camadas mais internas do músculo, mais próximas da artéria femoral, apresentando os seguintes resultados  $36.2 \pm 0.3$ ,  $35.9 \pm 0.3$  e  $35.0 \pm 0.3$  °C, mensuradas a 10 mm, 15mm e 30mm de distância da artéria femoral, respectivamente.

**Figura 14.** Comportamento da  $T_i$  e  $T_M$  durante a realização de uma partida de futebol.

$T_M$  CON: Temperatura muscular do grupo controle (repouso passivo no intervalo).  
 $T_M$  RW: Temperatura muscular do grupo experimental (reaquecimento no intervalo).  
 $T_i$  CON: Temperatura interna do grupo controle (repouso passivo no intervalo).  
 $T_i$  RW: Temperatura interna do grupo experimental (reaquecimento no intervalo).



Fonte: Mohr *et al.*, 2004.

Nesse sentido, a participação em uma partida de futebol resulta em elevado estresse fisiológico, provocando alterações termorregulatórias, estruturais e

bioquímicas que perduram nos dias subsequentes (MOHR *et al.*, 2016). Assim, uma importante reposta efetora presente na recuperação após os jogos é a vasodilatação periférica, em especial da musculatura ativa (MOHR *et al.*, 2004; MOHR *et al.*, 2005; JOHNSON, 2010). Além disso, a vasodilatação periférica localizada na musculatura ativa é uma importante ação das respostas inflamatórias imunitárias para reparação e remodelação do tecido muscular danificado. Toda esta ação localizada na musculatura exercitada pode ajudar e explicar a dificuldade de retorno dos valores de repouso da  $T_M$  após a realização do exercício.

## 2.7 A temperatura da pele e o dano muscular

A resposta inflamatória aguda apresentada pelos atletas após as partidas resulta no aparecimento de alguns sinais cardinais produzidos pelo organismo, tais como: calor, rubor, dor e inchaço (PUNCHARD *et al.*, 2004). O redirecionamento do fluxo sanguíneo arterial para a musculatura exercitada resulta em uma maior  $T_M$ , e conjuntamente uma maior vasodilatação cutânea local, gerando a sensação de calor percebida, bem como no rubor em função do maior número de eritrócitos que transitam nesta área (PUNCHARD *et al.*, 2004; PAULSEN *et al.*, 2012). Além disso, durante o processo inflamatório, a velocidade do fluxo sanguíneo cutâneo é reduzida, o que permite a interação das células circulantes com as células endoteliais que expressam moléculas de superfície capazes de se ligar aos leucócitos (CRUVINEL *et al.*, 2010; ABBAS *et al.*, 2012). Também é importante destacar que durante a partida e no momento pós-exercício existe a liberação de citocinas pró-inflamatórias TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$  e IL-6, que podem permanecer elevadas por um período de 24-48 horas (MOHR *et al.*, 2016), e, concomitantemente, atuam como pirogênicos endógenos, contribuindo assim para o aumento da  $T_I$  (FEHRENBACH; SCHNEIDER, 2006; MURPHY *et al.*, 2010).

Desta forma, todos estes fatores resultam em uma maior  $T_P$  registrada nas regiões corporais exercitadas. Assim,  $T_P$  poderia ser uma medida indireta do processo inflamatório decorrente do dano muscular gerado pelo exercício, em especial aquele com maior característica excêntrica. Ou seja, pode ser uma maneira não invasiva de se mensurar uma das respostas do organismo (calor) ao processo inflamatório, o que a leva, portanto, ser uma variável associada ao dano muscular



gerado em função das partidas e treinamentos, podendo ser utilizada como estratégia para de controle de treinamento em atletas de alto rendimento (SILLERO-QUINTANA *et al.*, 2011; Al-NAKHLI *et al.*, 2012; BANDEIRA *et al.*, 2012).

É importante destacar que a vasodilatação muscular e cutânea aumenta o fluxo sanguíneo no local exercitado. Entretanto, não é seu simples aumento que determina um maior valor de  $T_P$ , mas sim sua junção com a chegada de sangue arterial a uma temperatura mais elevada no músculo e na pele. Em condições de repouso, a faixa temperatura sanguínea esperada é de 36.8-37,9 °C (DAVIE e AMOORE, 2010). Assim, o deslocamento desse fluxo sanguíneo a uma maior temperatura resulta em um maior valor de  $T_M$  e  $T_P$ .

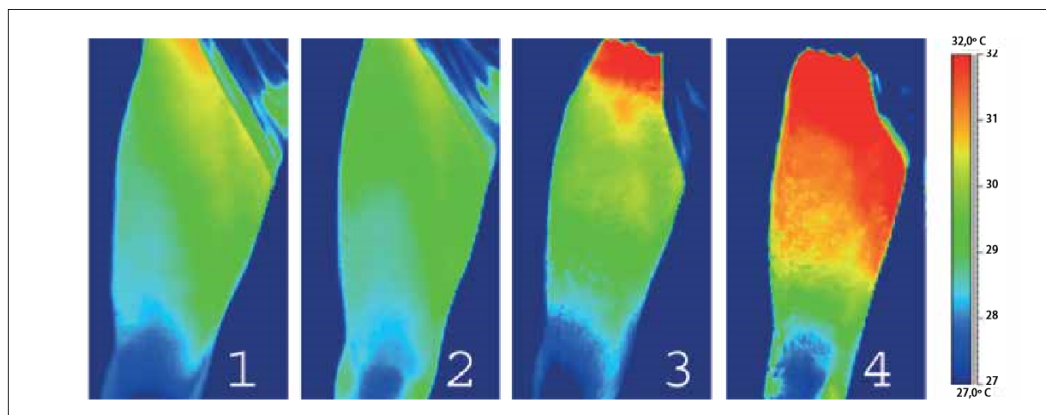
Bhargava *et al.* (2014), utilizando um modelo térmico computacional de multicamadas de tecido (osso, músculo, gordura, camada reticular, camada papilar e epiderme), estudaram a resposta da  $T_P$  após uma simulação de inflamação dos tecidos musculares profundos. Foram analisadas as alterações de perfusão sanguínea  $\omega$  (l/s), taxa de geração de calor metabólico  $q$  (w/m<sup>3</sup>) e temperatura °C, onde os resultados apontam que quanto maior o processo inflamatório e quanto mais próximo estiver da epiderme, maior será a  $T_P$  registrada.

Bandeira *et al.* (2012) estudaram o comportamento da  $T_P$  após a realização de uma série de exercícios de musculação concentrados nos membros inferiores, em uma população de jovens atletas de futebol. Seus resultados indicam aumento da  $T_P$  24 h após a realização do exercício, existindo diferença estatística significativa nos valores registrados antes, em comparação com as registradas 24 h depois. Na Figura 15 é possível observar uma imagem térmica (IT) ilustrativa do aumento da  $T_P$  24 h após a realização do exercício apresentada no estudo de Bandeira *et al.* (2012).

Al-Nakhli *et al.* (2012) investigaram o efeito da realização do exercício de rosca bíceps na  $T_P$  24 e 48 h após sua realização, em uma amostra composta por um grupo de sujeitos diabéticos e outro saudável. Os resultados do grupo de sujeitos saudáveis mostraram diferença estatística significativa e um aumento médio de 0,5 °C nos valores pré-exercício  $32,4 \pm 0,8$  °C com os observados 24h,  $32,9 \pm 0,9$  °C. Já para os valores registrados 48h não existiu diferença significativa retornando a valores próximos ao do repouso.

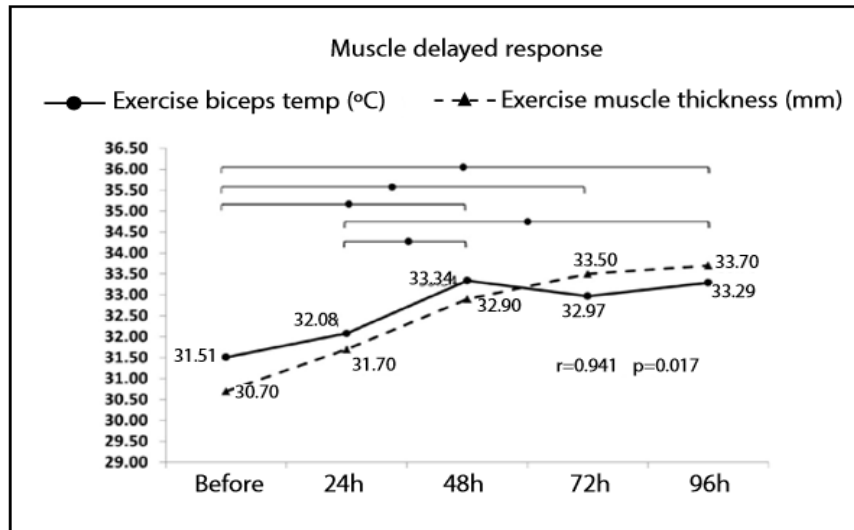
Neves *et al.* (2015), propuseram a realização de cinco conjuntos de exercícios *bi-set* para bíceps no braço dominante, com halteres a uma carga de 70% de uma repetição máxima, sendo os dados de  $T_P$  obtidos antes, imediatamente após a última série, 24, 48, 72 e 96 horas após o exercício. Os resultados indicam aumento contínuo da  $T_P$  nos períodos de 24 a 96h após o treinamento de força (Figura 16).

**Figura 15.** Comparação de IT pré-treino e 24h pós-treino. (1) Sujeito do grupo controle, pré-treino; (2) Sujeito do grupo controle, 24h pós-treino; (3) sujeito do grupo experimental, pré-treino, e (4) sujeito do grupo experimental, 24h pós-treino.



Fonte: Bandeira *et al.*, 2012.

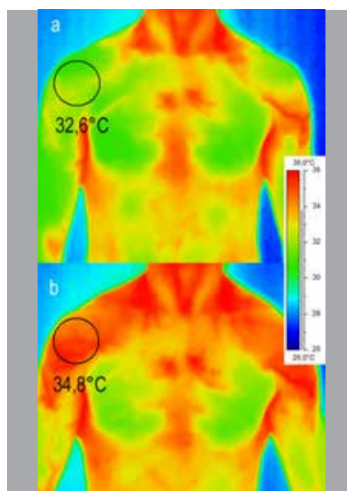
**Figura 16.** Comportamento da  $T_P$  e da espessura da musculatura exercitada do bíceps até 96h após a realização do treino de força.



Fonte: Neves *et al.*, 2015.

Bandeira *et al.* (2014), utilizando uma amostra de atletas profissionais do sexo masculino de uma equipe de rúgbi participante do campeonato brasileiro, estudaram a resposta da  $T_P$  48h após a participação em uma partida. Os resultados indicam que a  $T_P$  aumenta, em média, 0,6 °C na região do tronco após a participação em uma partida. Na Figura 17 é possível observar uma imagem térmica antes e 48h após a partida de rúgbi.

**Figura 17.** IT coletada antes da partida (a) e 48h após a realização de uma partida de rúgbi (b).

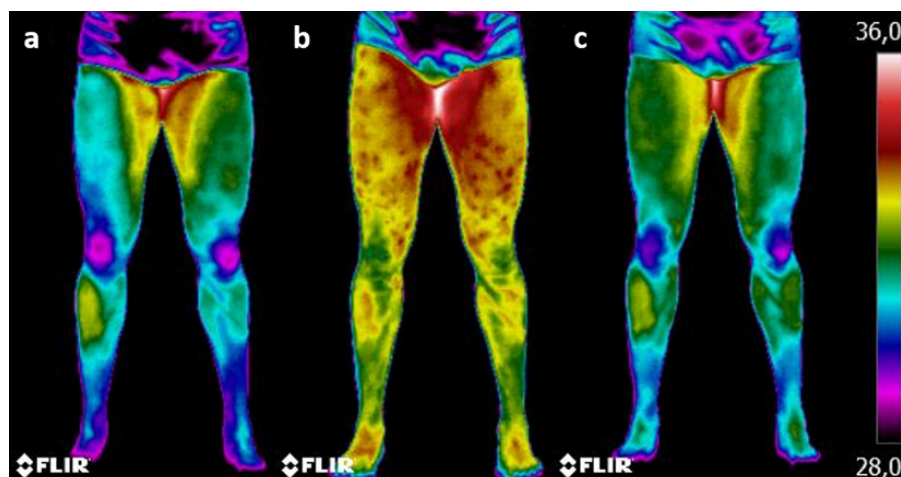


Fonte: Bandeira *et al.*, 2014.

Já no estudo de Fernandes *et al.* (2017), em que um atleta de futebol profissional foi avaliado 24 e 48 horas depois de uma partida oficial, observou-se que em todas as RCI a diferença em relação ao momento pré-jogo foi superior a 2°C, chegando a 2,5 °C na região posterior das coxas (Figuras 18 e 19). Entretanto, esta parece ser uma condição natural e normal para atletas de alto rendimento após a participação em uma partida oficial de futebol. É importante destacar que o atleta estudado passou por avaliação clínica médica, onde não se constatou nenhum sintoma ou queixa de lesão, sendo todos os resultados considerados normais para análises pós-jogo, o que reforça a ideia de que  $T_P$  aumenta após o jogo em função do processo inflamatório.

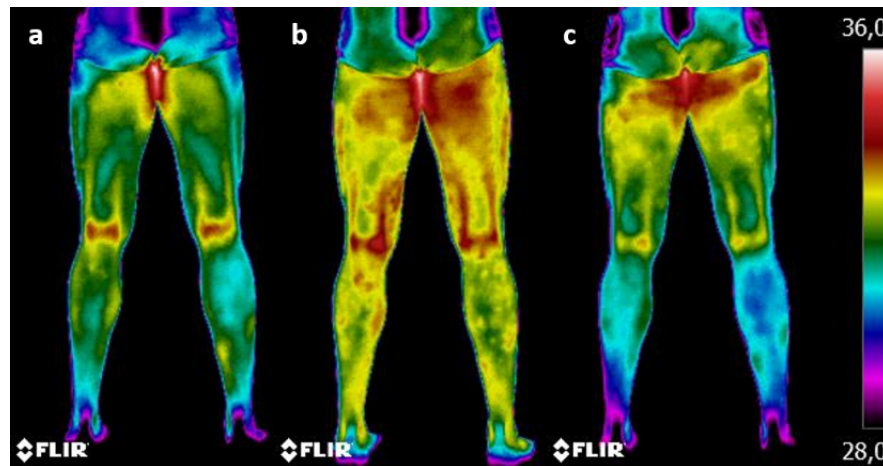
A hipótese levantada no estudo de Fernandes *et al.* (2017), de que a participação em uma partida de futebol resulta em um número acentuado das microlesões musculares e conjuntamente ocorre uma resposta inflamatória aguda local, com objetivo de reparar os tecidos danificados, é comprovada pelos valores de CK e de  $T_P$  registrados nos diferentes momentos, com destaque para os valores observados 24 horas após a partida (1083 U/L) para CK, 33,8 e 34,6 °C na visão anterior e posterior das coxas, respectivamente. Além disso, a  $T_P$  apresenta um comportamento semelhante ao da CK, existindo um aumento significativo após a partida, que pode retornar a valores pré-jogo desde que as condições de recuperação preconizadas sejam respeitadas, tais como: sono, alimentação, repouso, dentre outros.

**Figura 18.** IT da visão anterior nos momentos: a) 24 horas antes da partida; b) 24 horas após a realização da partida; e c) 48 horas após a realização da partida.



Fonte: Fernandes *et al.*, 2017.

**Figura 19.** IT da visão posterior nos momentos: a) 24 horas antes da partida; b) 24 horas após a realização da partida; e c) 48 horas após a realização da partida.



Fonte: Fernandes *et al.*, 2017.

Em todos os estudos apresentados anteriormente o método utilizado para avaliação da  $T_P$  foi a TRI. Entre as vantagens relatadas de se utilizar a TRI para mensurar a  $T_P$  é possível destacar: o relativo baixo custo dos modelos mais simples; o fato de que esta é uma técnica não invasiva, onde não é necessário o contato físico com o avaliado e o monitoramento da  $T_P$  pode ser feito centrado em uma determinada RCI específica (análise local); e uma visão ampla de todo o corpo, possibilitando uma análise global. Além de permitir visualizar a temperatura da superfície corporal em tempo real, com alta sensibilidade, até  $0,025^{\circ}\text{C}$ , e precisão chegando a 1% (FERNANDES *et al.*, 2014; FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2015; MARINS *et al.*, 2014a, 2015b).

## 2.8 A creatina quinase e o dano muscular

A CK é um marcador bioquímico de dano muscular que tem sido utilizado amplamente como estratégia para controle do treinamento em atletas de futebol (LAZARIM *et al.*, 2011; COELHO *et al.*, 2011; COELHO *et al.*, 2013; COELHO *et al.*, 2014; ALVES *et al.*, 2015; COELHO *et al.*, 2015). A dosagem desta enzima indica um índice de necrose celular e danos nos tecidos musculares, que aumentam após a participação em partidas e treinamentos. É conhecido que a quantidade de liberação da CK na corrente sanguínea a partir de tecido muscular é diretamente

influenciada pela intensidade, duração, tipo de exercício físico, genética, massa muscular, adaptação ao treinamento, entre outros (PEAKE *et al.*, 2005; BRANCACCIO *et al.*, 2007; BRANCACCIO *et al.*, 2008).

As ações mecânicas e metabólicas às quais os músculos são submetidos durante o exercício produzem como efeito uma diminuição na resistência da membrana celular. As perturbações metabólicas no músculo advêm de uma cascata de eventos, que começa com a depleção de adenosina trifosfato (ATP) e resulta na fuga de íons de cálcio extracelular para o espaço intracelular, devido a uma disfunção na ação das bombas de Na-K-ATPase e Ca<sup>2+</sup>-ATPase (BAIRD *et al.*, 2012). Esta ação resulta em aumentos da atividade proteolítica das enzimas intracelulares, promovendo a degradação da proteína muscular e aumentando a permeabilidade celular, o que permite que determinados conteúdos celulares extravasem para o fluido intersticial. Na sequência são absorvidos pelo sistema linfático e devolvidos para corrente sanguínea (BRANCACCIO *et al.*, 2010; BAIRD *et al.*, 2012). Já o processo mecânico é caracterizado pela degeneração do sarcômero, rupturas dos miofilamentos de miosina e fragmentação da linha Z. A linha Z encontra-se localizada na extremidade do sarcômero, formando a junção entre um sarcômero e outro, que possui ainda os filamentos finos de actina que contribuem para sua fixação (PEAKE *et al.*, 2005; BRANCACCIO *et al.*, 2007; BRANCACCIO *et al.*, 2008; BRANCACCIO *et al.*, 2010; BANFI *et al.*, 2012; PAULSEN *et al.*, 2012).

A CK é uma proteína globular dimérica compacta, sendo composta por duas subunidades com massa molecular de 43-45 kilodaltons (kDa). Sua função celular é catalisar a reação reversível entre a fosfocreatina (PCr) e o adenosina difosfato (ADP), produzidas durante a contração, regulando assim as concentrações de ADP e ATP (BRANCACCIO *et al.*, 2007; BRANCACCIO *et al.*, 2008; BRANCACCIO *et al.*, 2010; BAIRD *et al.*, 2012).

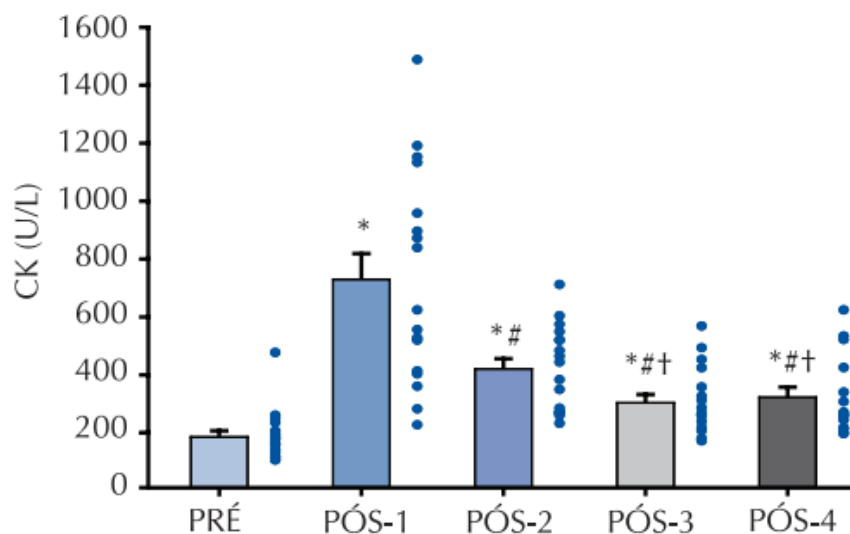
Existe, pelo menos, cinco isoformas de CK, sendo que duas formas específicas são encontradas nas mitocôndrias: um tipo não sarcomérica encontrada em vários tecidos como o cérebro e músculo liso e outra sarcomérica expressa no músculo cardíaco e esquelético - estes dois tipos são chamados de CK mitocondrial (BAIRD *et al.*, 2012). As outras três isoformas são específicas do tecido: CK-MB (músculo cardíaco), CK-MM (músculo esquelético), e CK-BB (cérebro)

(BRANCACCIO *et al.*, 2007; BRANCACCIO *et al.*, 2008; BRANCACCIO *et al.*, 2010; BAIRD *et al.*, 2012).

No futebol, diferentes estudos avaliaram o comportamento da CK após a realização de partidas. Coelho *et al.* (2011) estudaram a cinética da concentração plasmática de CK em atletas profissionais de um clube de primeira divisão do futebol brasileiro em coletas seriadas, nos momentos 12-20h, 36-48h, 60-65h e 90-110h pós jogo, durante uma temporada competitiva sem interrupção do cronograma de treinamentos. Os resultados apontam para uma concentração pico de CK entre 12-20h após jogo, retornando aos valores normais de treinamento em 60-65h. A Figura 20 apresenta a cinética da CK nos momentos estudados.

**Figura 20.** Concentração plasmática da CK em diferentes momentos após os jogos, sendo Pré (repouso), Pós-1 (12-20h), Pós-2 (36- 48h), Pós-3 (60-65h) e Pós-4 (90-110h).

\*Dif. Sig da fase Pré. # Diferente do Pós-1. † Diferença em relação a Pós-2 (p<0,05).

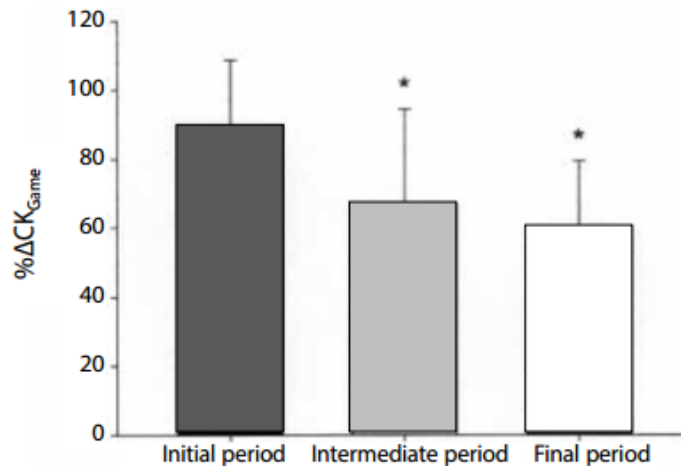


Fonte: Coelho *et al.*, 2011.

Alves *et al.* (2015) destacam que normalmente em esportes como o futebol, para o monitoramento da carga de treinamento, é comum a utilização de valores de referência fixos para a concentração de CK, com intuito de indicar risco para ocorrência de lesão. No entanto, a utilização de valores de referência fixos de concentração de CK pode gerar erros de interpretação devido à elevada variabilidade interindividuais e intraindividuais. Assim, é extremamente recomendado analisar as respostas da CK de forma individualizada, em especial no trabalho diário

dos clubes de futebol. Além disso, o estudo destaca que a participação nos jogos e treinamentos durante a temporada provoca adaptações musculares que reduzem a concentração da CK com decorrer da temporada (Figura 21).

**Figura 21.**  $\% \Delta CK_{\text{Jogo}}$  durante diferentes períodos de uma temporada de atletas profissionais de um clube de primeira divisão do futebol brasileiro.



Fonte: Alves *et al.*, 2015.

A proposta de Alves *et al.* (2015) para a determinação do percentual individualizado da CK de jogo é calculada através da coleta dos valores da CK de repouso ( $CK_{\text{rep}}$ ) e CK de jogo ( $CK_{\text{jogo}}$ ) coletada após as partidas ao longo do período competitivo, onde o maior valor encontrado é chamado de CK máxima ( $CK_{\text{máx}}$ ). Assim, a diferença entre a  $CK_{\text{jogo}}$  e a  $CK_{\text{rep}}$  é igual  $\Delta CK_{\text{jogo}}$ , e a diferença entre a  $CK_{\text{máx}}$  e a  $CK_{\text{rep}}$  é igual  $\Delta CK_{\text{máx}}$ . Portanto, considerando a  $CK_{\text{máx}}$  igual a 100%, é possível relativizar os valores da  $\Delta CK_{\text{jogo}}$  através da seguinte equação:  $\Delta CK_{\text{jogo}} / \Delta CK_{\text{máx}} \times 100$  é igual a  $\% \Delta CK_{\text{jogo}}$ .

Dessa maneira, a utilização da CK de forma individualizada é o recomendado, pois melhora a interpretação dos resultados deste marcador bioquímico de dano muscular, que é amplamente utilizado como estratégia controle do treinamento e prevenção de lesões em atletas de futebol.

Algumas limitações em relação à utilização da CK como estratégia controle do treinamento devem ser destacadas, como por exemplo, esta ser uma medida altamente variável, que sofre interferência do dano muscular gerado em qualquer região corporal. Assim, se um atleta sofre uma pancada na região das costas,



braços ou outra região que não a exercitada, apresenta, por sua vez, valores de CK mais elevados, que não causados pelo maior desgaste da musculatura ativa. Desta forma, a coleta de dados em partidas oficiais pode apresentar grandes variações em função de condições não controladas que ocorrem durante as partidas.

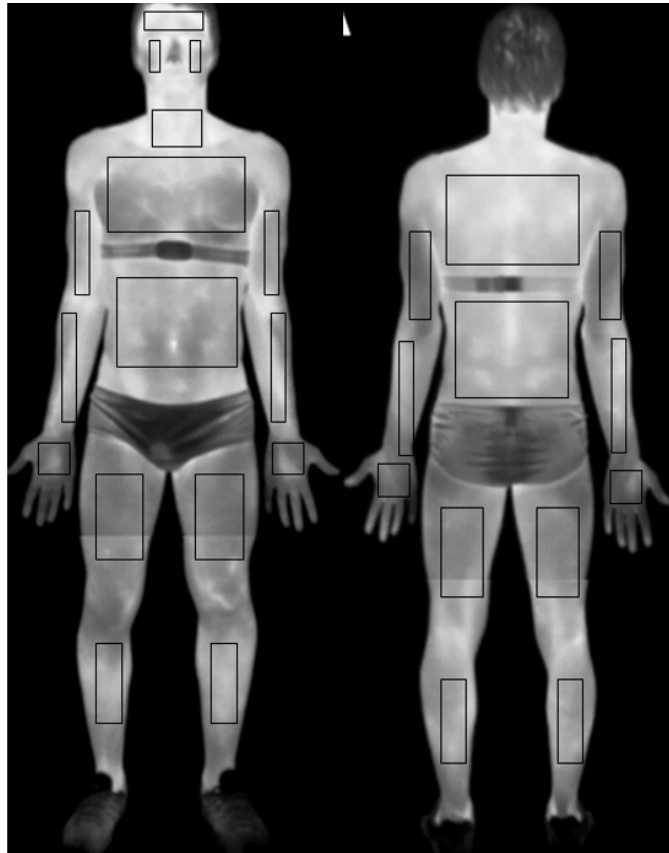
## 2.9 Métodos de análises das imagens térmicas

A utilização da TRI permite ao avaliador realizar uma análise qualitativa e quantitativa. Nesta primeira possibilidade é possível identificar regiões de hipertermia/hipotermia, o que contribui para avaliação do estado físico do atleta. Esta condição difere dos marcadores bioquímicos que não determinam a localização anatômica do local que apresenta um maior processo inflamatório (hipertermia), ou processo degenerativo (hipotermia) (GÓMEZ-CARMONA *et al.*, 2008; HILDEBRANDT *et al.*, 2010; BANDEIRA *et al.*, 2012; MARINS *et al.*, 2015a).

Já na análise quantitativa é possível extrair dados com valores de temperatura que, dependendo da característica do equipamento utilizado, podem chegar a mais de 1.310.000 pixels, onde cada um destes representa um valor de temperatura. Nesta análise, o avaliador pode selecionar as RCIs, extrair valor de temperatura média, máximo e mínimo, criar banco de dados e acompanhar as variações de temperatura em função dos treinamentos e partidas (GÓMEZ-CARMONA *et al.*, 2008; HILDEBRANDT *et al.*, 2010; BANDEIRA *et al.*, 2012; BARCELOS *et al.*, 2014; MARINS *et al.*, 2014b; MARINS *et al.*, 2015a).

Nesse sentido, até o presente momento, para a realização das análises das IT coletadas através da TRI, retângulos são determinados através de *softwares* específicos para extração dos valores de  $T_P$  de cada RCI analisada (Figura 22) (MARINS *et al.*, 2014a; MARINS *et al.*, 2014b; FERNANDES *et al.*, 2016). Normalmente, em uma análise dos membros inferiores em atletas de futebol oito (8) RCIs são determinadas, sendo elas nas coxas direita e esquerda, perna direita e esquerda, nas visões anterior e posterior, e a média dos valores de  $T_P$  obtida nesta RCI é computada (MARINS *et al.*, 2014b). Entretanto, este é um processo que demanda tempo, precisão e experiência do operador do *software*. Além disso, a seleção das RCIs neste modelo de retângulos não contempla partes importantes dos músculos das coxas e pernas.

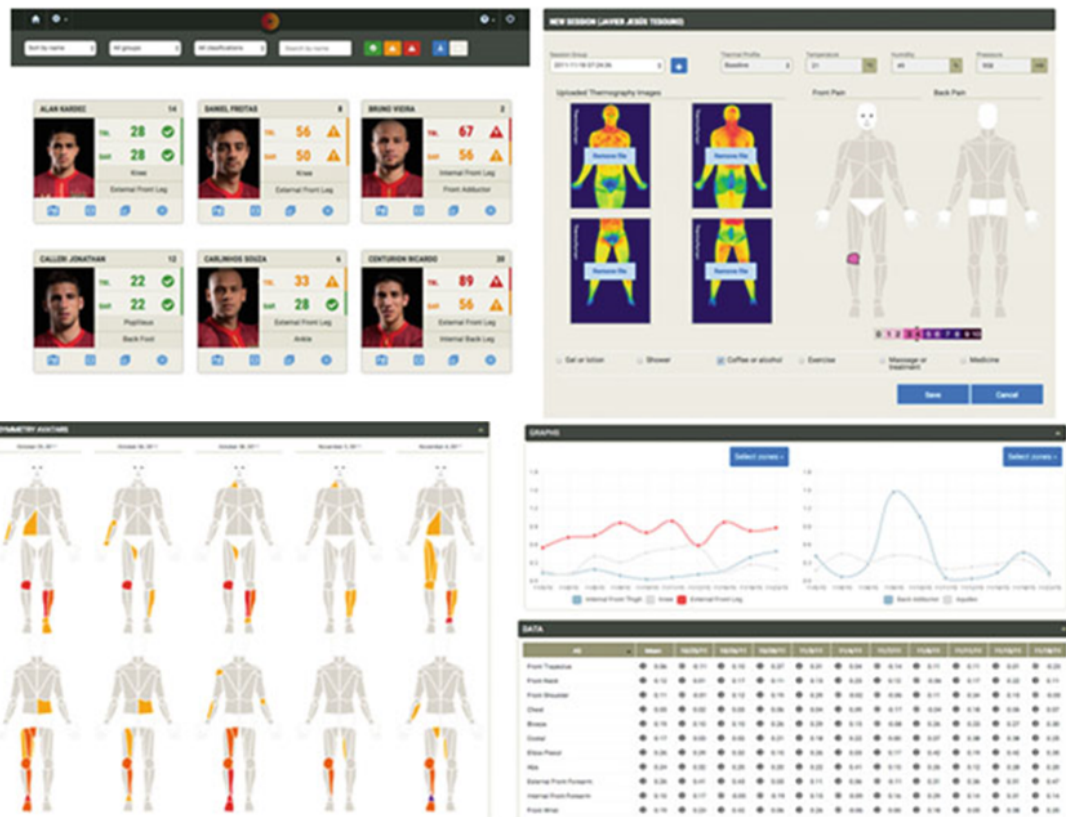
**Figura 22.** Diferentes RCIs demarcadas manualmente.



Fonte: Fernandes *et al.*, 2016.

Muitos estudos que utilizaram a TRI desenvolveram seus próprios critérios para criar e selecionar RCIs. Uma limitação em torno da seleção RCI é baseada no procedimento manual que é necessário para demarcá-las. Nesse sentido, *softwares* que delimitam automaticamente as RCIs têm sido desenvolvidos com objetivo de melhorar a confiabilidade e a agilidade na análise das IT (FERNÁNDEZ-CUEVAS, *et al.*, 2017a). Nessa linha, pode-se destacar o TotalVision®, Meditherm IRIS® e Termotracker®, onde, neste último, os dados de  $T_P$  são extraídos para monitorar as assimetrias térmicas entre as diferentes RCIs (Figura 23) (FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2017a; FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2017b).

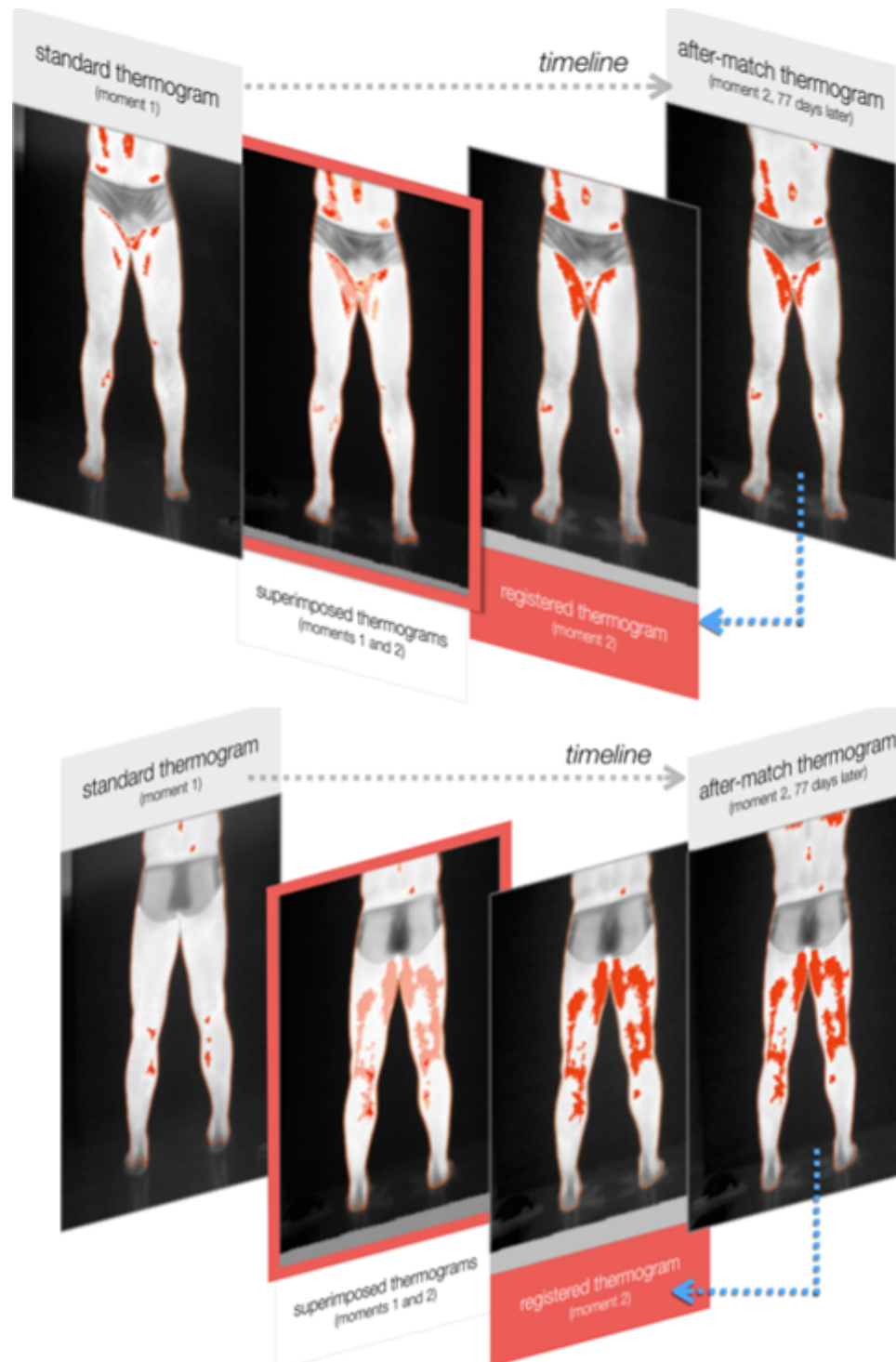
Figura 23. Diferentes interfaces do Termotracker®.



Fonte: Fernández-Cuevas *et al.*, 2017a.

No modelo desenvolvido por Barcelos *et al.* (2014) um método combinando técnicas de segmentação, processamento e registro de imagens foi proposto para uma melhor seleção de regiões de interesse, e resultou em medidas mais precisas. Além disso, o método fornece os meios para analisar as mudanças nos padrões térmicos ao longo do tempo através do processamento de imagens em um sistema de coordenadas espaciais, onde as comparações podem ser feitas ponto a ponto dentro da matriz da IT. Em vez de usar formas geométricas simples e selecionadas manualmente, esse método extrai automaticamente os dados usando a forma real do corpo humano (ou seja, silhuetas), permitindo a avaliação das variações entre os termogramas e a extração da porcentagem das variações em cada RCI (Figura 24) (BARCELOS *et al.*, 2014).

Figura 24. Exemplo do método proposto por (BARCELOS *et al.*, 2014).



Fonte: Barcelos *et al.*, 2014.

Enquanto descrição, temos imagens anteriores e posteriores de um atleta de futebol. As IT foram coletadas em momentos distintos M1 e M2, com 77 dias de intervalo. Nas extremidades esquerda e direita, as IT originais retiradas nos

momentos M1 e M2, respectivamente. A terceira IT é o resultado do método de ajuste de coordenadas e posicionamento ponto a ponto. A IT (em uma moldura vermelha) é uma sobreposição do termograma original, M1 com o termograma registrado no M2.

O modelo de análise manual ou a automática com a segmentação das RCIs, previamente definidas, pode gerar erros, uma vez que não contempla com precisão o formato anatômico das diferentes musculaturas dos membros inferiores, situação esta que não ocorre com o método proposto por Barcelos *et al.* (2014). Condição semelhante pode ser observada nos estudos de Ludwig *et al.* (2014) e Formenti *et al.* (2017), onde a análise baseada na extração de pixels de uma RCI desenhada manualmente apresenta vantagens e características distintas da análise baseada unicamente na média  $T_P$  de RCI.

Até o momento, os *softwares* e os estudos desenvolvidos com atletas trabalham com valor de temperatura média, máximo ou mínimo da RCI analisadas, sendo a média o valor mais utilizado pelos pesquisadores (MARINS *et al.*, 2014a; MARINS *et al.*, 2014b; FERNANDES *et al.*, 2016). Alternativamente, pode-se utilizar para análise das IT um método baseado no número de pixels, que apresenta características diferentes dos atuais, e que, por sua vez, pode proporcionar maior agilidade, análise localiza e global do número de pixels em cada temperatura ou faixas de temperaturas, além de não necessitar desenhar marcadores nas IT, o que deixa o processo mais ágil e reduz possíveis erros nas demarcações, permitindo ao avaliador acompanhar as variações em cada faixa de temperatura de interesse.

### 3 OBJETIVOS - ESTUDO 1

#### 3.1 Cinética da temperatura da pele de membros inferiores em atletas de futebol

Os objetivos deste estudo foram: (1) analisar a cinética da  $T_P$  de membros inferiores em atletas de futebol de elite após a participação em partidas oficiais, nos momentos pré-jogo, 24 e 48h pós-jogo. (2) verificar a possível correlação da  $T_P$  com o percentual individualizado da CK. (3) E comparar as RCIs do lado direito com esquerdo, bem como da visão anterior com posterior.

Hipótese nula ( $H_0$ )

A  $T_P$  de membros inferiores de atletas de futebol não apresenta alterações estatisticamente significativas após a participação de partidas oficiais nos momentos pré-jogo, 24 e 48h pós-jogo, bem como na comparação das RCIs do lado direito e esquerdo, visão anterior e posterior e não existe correlação da  $T_P$  com o percentual individualizado da CK.

Hipótese alternativa ( $H_1$ )

A  $T_P$  de membros inferiores de atletas de futebol apresenta alterações estatisticamente significativas após a participação de partidas oficiais nos momentos pré-jogo, 24 e 48h pós-jogo, bem como na comparação das RCIs do lado direito e esquerdo, visão anterior e posterior, e existe correlação da  $T_P$  com o percentual individualizado da CK.

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS - ESTUDO 1**

### **4.1 Cuidados éticos**

Os procedimentos experimentais deste estudo foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais, tendo seu número de registro no Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE): 50708915.6.0000.5149 (Anexo 1). O presente estudo respeitou as normas estabelecidas pela Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde, bem como o estabelecido na Declaração da Assembleia Médica Mundial de Helsinque.

Todos os procedimentos e os possíveis riscos e benefícios do estudo foram explicados aos voluntários que, em seguida, assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para participar do estudo.

### **4.2 Amostra**

A amostra foi composta por trinta (30) atletas de futebol pertencentes a um clube profissional da primeira divisão do futebol brasileiro, que mantinham treinamentos sistematizados, regulares e disputavam competições organizadas e/ou reconhecidas pela Confederação Brasileira de Futebol (CBF), Campeonato Brasileiro Série A, Copa do Brasil, bem como competições continentais, Copa Libertadores da América e Copa Sul-Americana.

Todos os voluntários são do sexo masculino e faixa etária entre 20 e 34 anos com experiência prévia com treinamento sistematizado de futebol há pelo menos cinco (5) anos. Estes atletas treinavam em média seis dias por semana, distribuídos em cerca de nove sessões de treinamento, com aproximadamente 2 h cada sessão, além das partidas das competições. Todos foram considerados saudáveis na avaliação do estado de saúde prévio e aptos para a prática de exercícios físicos. Os participantes que fizeram uso de medicamentos, que estiveram lesionados e/ou doentes no último mês antes do início ou durante o estudo foram excluídos da amostra.

### 4.3 Caracterização e avaliação física dos voluntários

Nesta etapa um profissional de Educação Física realizou um levantamento antropométrico onde foram mensurados massa corporal, estatura e dobras cutâneas. O grupo estudado apresentou média de idade de  $27,2 \pm 4,4$ , massa corporal  $69,8 \pm 6,6$  (kg). Para tanto foi utilizada uma balança digital (Filizola®) com precisão de 0,02 kg. Estatura  $178,3 \pm 6,3$  (cm) mensurada utilizando um estadiômetro com precisão de 0,5 cm, acoplado a uma balança (Filizola®).

Para o cálculo da estimativa da densidade utilizou-se o somatório de dobras cutâneas (subescapular, tricipital, peitoral, axilar, suprailíaca, abdominal e coxa) desenvolvidas por Jackson e Pollock (1978), e para o percentual de gordura utilizou-se a equação de Siri (1961). Também foi utilizado um plicômetro graduado em milímetros (Lange®), sendo a média obtida do grupo de  $9,8 \pm 3,0$  (%). Todas as medidas seguiram as recomendações da *International Society for the Advancement of Kinanthropometry* (MARFELL-JONES M *et al.*, 2006).

O  $\dot{V}O_{2\text{máx}}$  do grupo foi de  $54,2 \pm 2,5$  ( $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ), avaliado de forma indireta, por meio do teste de campo *YoYo Endurance Test* (nível 2) (BANGSBO, 1994), realizado durante o período de pré-temporada e comandado pela equipe técnica do clube, no final da tarde, em gramado natural, onde todos os atletas utilizavam chuteiras. Este espaço é específico para o futebol e esportes intermitentes (KRUSTRUP *et al.*, 2003), onde a distância total percorrida tem relação positiva com a capacidade aeróbia dos atletas (CASTAGNA *et al.*, 2006).

Tendo em vista que a  $T_P$  pode sofrer interferências devido a fatores externos e internos, foram considerados como fatores de exclusão as seguintes características: lesão músculo esquelética; distúrbios do sono; quadro febril nos últimos sete dias; tratamento fisioterápico ou dermatológico com cremes, pomadas ou loções de uso local; bem como utilização de medicamentos como antitérmicos, diurético ou algum suplemento alimentar com potencial interferência na homeostase hídrica ou temperatura corporal na semana de coleta dos dados (MARINS *et al.*, 2014c; MARINS *et al.*, 2014b; FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2015).



#### 4.4 Caracterização das partidas

Para análise da intensidade das partidas e movimentações dos atletas foi utilizado um dispositivo GPS (GPSports Systems, Canberra, Australia®) com frequência de amostragem de 15Hz e com um acelerômetro triaxial de 100Hz. Cada atleta utilizou uma unidade do dispositivo GPS (massa: 76g; dimensão: 48 mm x 20 mm x 87 mm) colocado na parte posterior de um colete junto à região torácica. Depois de gravados, os dados foram transferidos para um computador e analisados no *software* específico do equipamento. Na Tabela 1 estão descritas as informações que caracterizam as partidas analisadas neste estudo, tais como horário, temperatura ambiente e umidade relativa do ar, além da distância total percorrida, metros por minutos e número de ações acima de 25 Km/h.

**Tabela 1.** Caracterização dos jogos analisados no estudo.

	H.	Temp.	U. R.	Distância (m)	Metros/min	N° ações >25km/h
Jogo 1	16:00	28° C	75%	10125±986.2	103,3±10,0	7±4,0
Jogo 2	16:00	27° C	72%	10234±991.5	110,2±9,1	8±3,6
Jogo 3	19:00	25° C	79%	10951±834.1	99,4±11,2	7±4,2
Jogo 4	17:00	31° C	70%	9457±1053.3	97,7±10.9	7±3,4
Jogo 5	18:30	26° C	69%	1268±916,3	93,5±9.6	6±3,2
Jogo 6	16:00	26° C	68%	9921±1211,6	109,3±10.1	7±4,1
Jogo 7	16:00	28° C	74%	10324±979,1	102,5±10.6	6±4,9
Jogo 8	19:00	27° C	75%	9874±1010,6	102,5±10.6	6±4,9
Jogo 9	18:30	25° C	72%	10132±1102,9	111,7±9.9	6±4,9
Jogo 10	16:00	22° C	73%	9698±1112,8	104,6±10.9	7±3,5
Jogo 11	16:00	24° C	75%	10944±988,8	108,5±10.1	8±3,9
Jogo 12	16:00	22° C	76%	10698±1051,2	100,3±10.4	7±3,3
Jogo 13	19:00	27° C	74%	10509±864,7	109,1±9.5	7±5,0

#### 4.5 Delineamento experimental - estudo 1

A coleta dos dados foi realizada ao longo das temporadas 2015 em sete (7) partidas e da temporada 2016 em seis (6) partidas do Campeonato Brasileiro de Futebol da Série A. Todas as coletas foram realizadas quando o clube estava na condição de mandante e sem a necessidade de viajar para jogos fora de casa na sequência. Ao todo foram coletados 93 dados de atletas, sendo o menor participante em uma (1) partida e o maior participante em oito (8).

Os dados de  $T_P$ , CK foram coletados em três (3) momentos diferentes, sendo eles: **M1 - (Pré-Jogo)** - 24 horas antes da partida; **M2 - (24h)** - 24 horas após a realização da partida; **M3 - (48h)** - 48 horas após a realização da partida, sempre no horário da tarde, e em compatibilidade com horário da partida, uma vez que a  $T_P$  pode sofrer alterações ao longo do dia (MARINS *et al.*, 2015b). Apenas foram avaliados e considerados os atletas que participaram pelo menos de 75% do tempo de jogo das partidas analisadas. Durante os jogos, os participantes foram autorizados a beber água *ad libitum* ou isotônicos de acordo com a prescrição da comissão técnica.

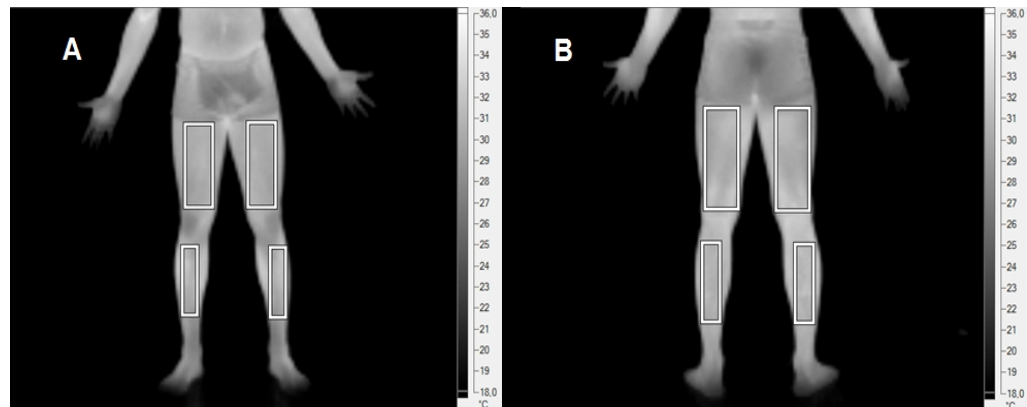
Para o registro da  $T_P$  foi utilizado um termovisor (Flir®, T420, Estocolmo), com amplitude de medição de -20 a +120°C, precisão de 1%, sensibilidade  $\leq 0,05^\circ\text{C}$ , banda de espectral dos infravermelhos de 7,5  $\mu\text{m}$  a 13  $\mu\text{m}$ , taxa de atualização de 60 Hz, foco automático e resolução de 320 x 240 pixels.

Os procedimentos para coleta de dados de  $T_P$  foram os mesmos para todos os participantes em todos os momentos, e previamente estipulados em diferentes estudos (FERNANDES *et al.*, 2014; MARINS *et al.*, 2014a; MARINS, *et al.*, 2014b; MARINS *et al.*, 2014c; COSTA *et al.*, 2015; MARINS, *et al.*, 2015a). Os dados foram coletados em uma sala com condições ambientais devidamente controladas, onde a temperatura ambiente média foi de  $24,5 \pm 0,3^\circ\text{C}$  e a umidade relativa correspondente a  $51,4 \pm 2,7\%$ , sendo estas características as de um ambiente temperado (Bain e Jay, 2011). Partindo da posição anatômica, o voluntário foi posicionado de frente para o termovisor a uma distância de 3 metros para realização das IT (MARINS *et al.*, 2014c). Foram coletadas uma IT dos membros inferiores na visão anterior e uma na visão posterior. Esta coleta sempre foi realizada pelos membros da comissão técnica do clube, devidamente treinados e com experiência

neste tipo de ação, sendo acompanhados pelos pesquisadores em diferentes momentos do estudo.

As RCIs foram selecionadas em *software* específico (Flir Tools®), sendo delimitados retângulos de 10cm de largura x 20 cm de altura nas coxas e nas pernas 7cm de largura x 19cm de altura, conforme a Figura 25 (MARINS *et al.*, 2014b). O valor de emissividade adotado para pele humana será de 0,98 (LAHIRI *et al.*, 2012), e temperatura refletida da sala de 23°C.

**Figura 25.** IT da visão anterior (A) e posterior (B) de membros inferiores, com destaque para as RCI selecionadas para registro da  $T_P$ .



Fonte: Marins *et al.*, 2014b.

Para determinação da concentração enzimática da CK plasmática foi realizada limpeza da polpa digital dos avaliados com álcool etílico a 95% e, na sequência, foram coletados 32  $\mu$ L de sangue capilar. Após secagem com algodão, foi utilizada uma lanceta com disparador automático para punção e o sangue foi drenado para um tubo capilar heparinizado (Reflotron®) e imediatamente pipetado para uma tira reativa de CK (Reflotron®) e inserida no (Reflotron Analyser®). Esta coleta sempre foi realizada pelos membros da comissão técnica do clube, devidamente treinados e com experiência neste tipo de ação, sendo acompanhados pelos pesquisadores em diferentes momentos do estudo.

As análises individualizadas do % da CK seguiram a proposta de (ALVES *et al.*, 2015), onde foi necessário ter o conhecimento dos valores da CK de repouso (CKrep), CK de jogo (CKJogo) coletada após as partidas ao longo do período competitivo, onde o maior valor encontrado é chamado de CK máxima (CKmáx). Assim, a diferença entre CKJogo e a CKrep é igual  $\Delta$ CKJogo, e a diferença entre a

CKmáx e a CKrep é igual  $\Delta$ CKmáx. Portanto, considerando a CKmáx igual a 100%, é possível relativizar os valores da  $\Delta$ CKJogo através da seguinte equação:  $\Delta$ CKJogo/ $\Delta$ CKmax x 100 é igual a % $\Delta$ CKJogo.

#### 4.6 Análise estatística - estudo 1

Todas as variáveis foram testadas quanto à sua normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk, sendo consideradas normais. Os resultados são apresentados como média  $\pm$  Dp. A ANOVA *One-Way* para medidas repetidas, seguida do post-hoc de Tukey, foi utilizada para comparação dos valores da  $T_P$  em todas as RCIs, CK, frequência de pixels nas pernas direita e esquerda em todas as faixas de temperatura e para zonas de referência de temperatura, nos diferentes momentos de coleta de dados. O coeficiente de correlação de Pearson foi utilizado para variáveis  $T_P$  e CK. O teste T pareado será utilizado para comparação das RCIs do lado direito com esquerdo e visão anterior com posterior. O nível de significância adotado foi  $\alpha < 0,05$ . Todas as análises foram conduzidas nos programas estatísticos (Sigmaplot<sup>®</sup>, 12.0), (SPSS<sup>®</sup>, 17) e (Medcalc<sup>®</sup>, 13).

## 5 RESULTADOS - ESTUDO 1

A Figura 26 apresenta os valores da média da  $T_P$  observados nas diferentes RCIs ao longo dos diferentes momentos do estudo, M1 - (Pré-Jogo) - 24 horas antes da partida; M2 - (24h) - 24 horas após a realização da partida; M3 - (48h) - 48 horas após a realização da partida. Já a Tabela 2 apresenta a  $T_P$  das coxas e pernas (direita e esquerda) nas visões anterior e posterior em °C, nos diferentes momentos analisados, bem como o delta ( $\Delta$ ) da  $T_P$  na comparação da lateralidade das RCIs e o delta ( $\Delta$ ) da  $T_P$  na comparação entre as visões anterior e posterior. Na Tabela 3 são apresentado os valores de correlação da  $T_P$  registrados em cada RCI analisada com o percentual individualizado da CK, seguindo a proposta de Alves *et al.* (2015) nos diferentes momentos.

**Tabela 2.**  $T_P$  média das coxas e pernas (direita e esquerda) na visão anterior e posterior em °C, nos diferentes momentos de analisados, bem como o delta ( $\Delta$ ) da  $T_P$  na comparação da lateralidade das RCIs e o delta ( $\Delta$ ) da  $T_P$  na comparação entre as visões anterior e posterior.

	Coxa Dir.	Coxa Esq.		Perna Dir.	Perna Esq.	
VA - Anterior	$T_P$	$T_P$	$\Delta T_P$	$T_P$	$T_P$	$\Delta T_P$
<b>M1 - Pré</b>	31,6±0,8	31,6±0,7	0,0	31,8±0,5	31,7±0,6	0,1
<b>M2 - Pós</b>	33,3±0,7	33,3±0,7	0,0	33,1±0,7	33,1±0,7	0,0
<b>M3 - 48h</b>	32,6±0,7	32,6±0,7	0,1	32,6±0,6	32,6±0,6	0,0
<b>VP - Posterior</b>						
<b>M1 - Pré</b>	32,1±0,6	32,1±0,6	0,0	31,4±0,7	31,6±0,6	0,2
<b>M2 - Pós</b>	33,5±0,6	33,5±0,6	0,0	32,8±0,7	32,8±0,7	0,1
<b>M3 - 48h</b>	32,9±0,5	32,9±0,6	0,0	32,2±0,7	32,4±0,7	0,2
<b><math>\Delta T_P</math> M1 VA-VP</b>	-0,5*	-0,5*		0,4*	0,1*	
<b><math>\Delta T_P</math> M2 VA-VP</b>	-0,2*	-0,2*		0,3*	0,3*	
<b><math>\Delta T_P</math> M3 VA-VP</b>	-0,3*	-0,3*		0,4*	0,2*	

**VA:** Visão Anterior; **VP:** Visão Posterior; **M1:** Pré-jogo; **M2:** 24h pós-jogo; **M3:** 48h pós-jogo

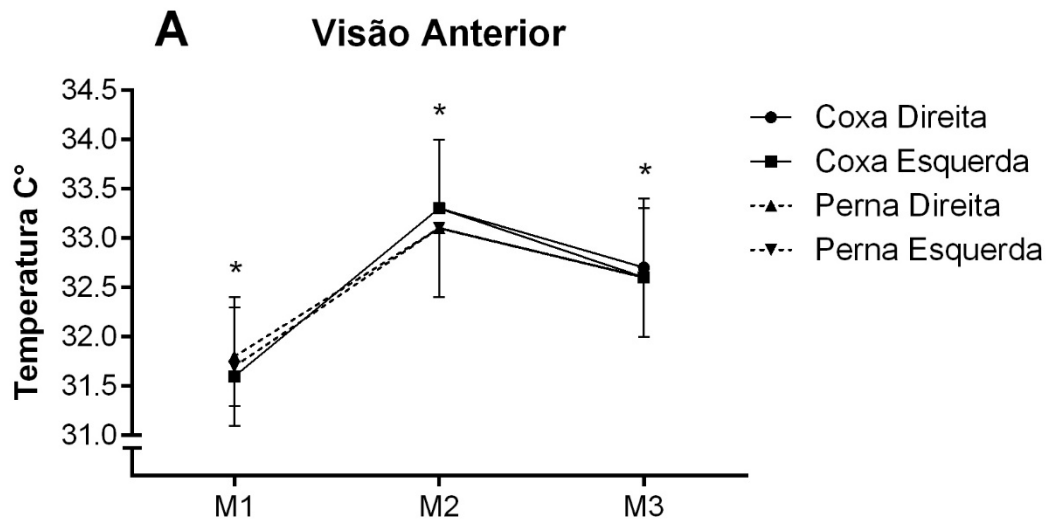
\* Dif. Est. Sig. (P= <0,001)

**Figura 26.**  $T_P$  média nas RCIs ao longo dos diferentes momentos do estudo, nas visões anterior (A) e posterior (B).

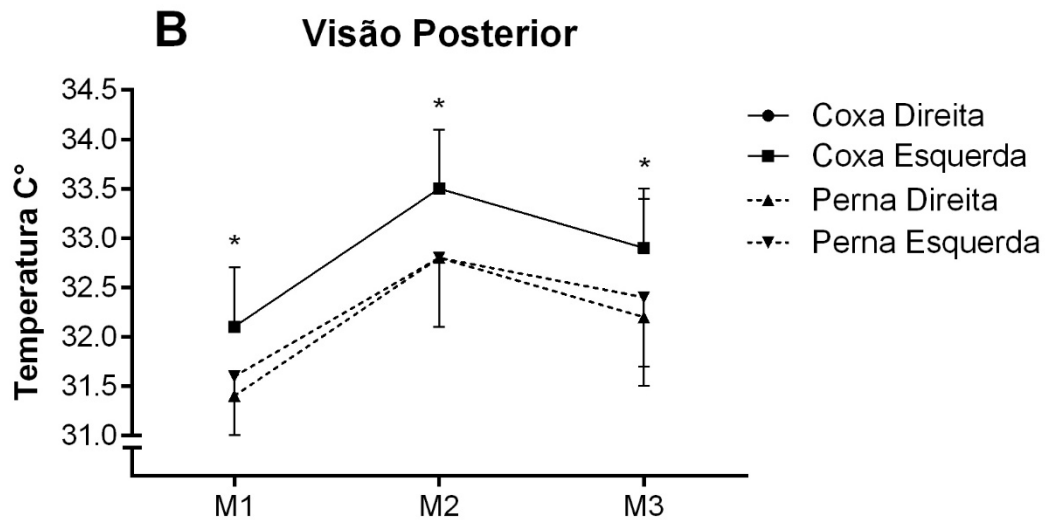
M1 - (Pré-Jogo) - 24 horas antes da partida;

M2 - (24h) - 24 horas após a realização da partida;

M3 - (48h) - 48 horas após a realização da partida.



\* Dif. Est. Sig. Entre todos os momentos ( $P = <0,001$ )

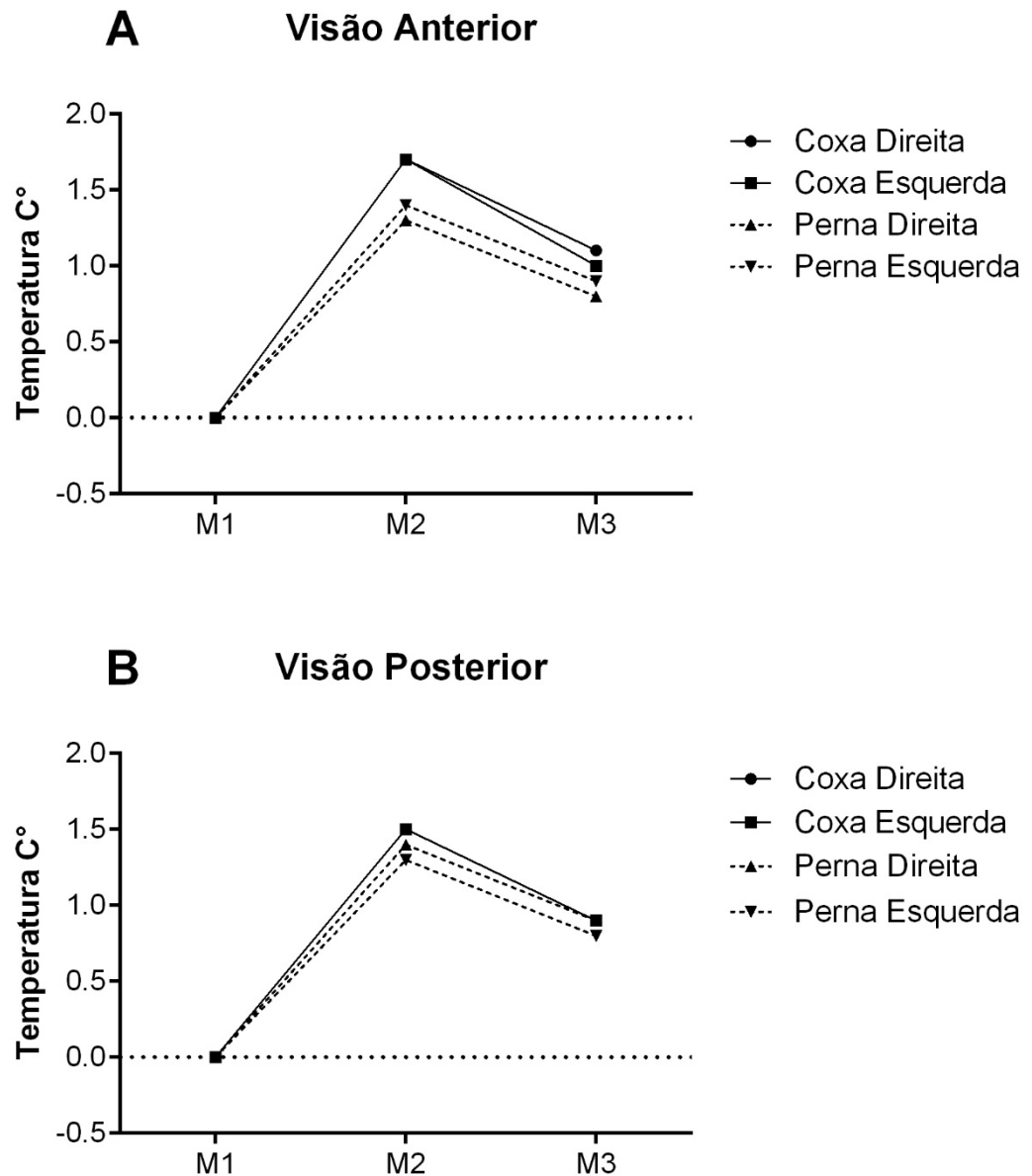


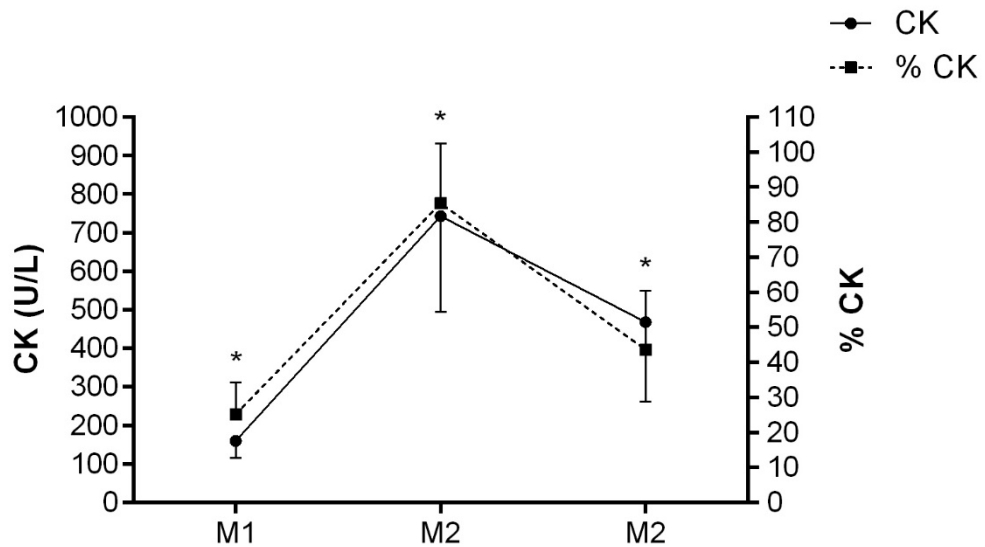
\* Dif. Est. Sig. Entre todos os momentos ( $P = <0,001$ )

A Figura 27 apresenta delta ( $\Delta$ ) da  $T_P$  nos momentos M1 menos M2 e M1 menos M3 nas diferentes RCIs analisadas, nas visões anterior e posterior. Já a

Figura 27 apresenta os valores da CK (U/L) e o percentual individualizado da CK, seguindo a proposta de Alves *et al.* (2015) nos diferentes momentos.

**Figura 27.** Delta ( $\Delta$ ) da  $T_P$  nos momentos M1 - M2 e M3, nas diferentes RCIs analisadas, nas visões anterior (A) e posterior (B).



**Figura 28.** Valores da CK (U/L) e seu % individualizado nos diferentes momentos.

\* Dif. Est. Sig. Entre todos os momentos ( $P = <0,001$ )

**Tabela 3.** Correlação linear da  $T_P$  registrada em cada RCI analisada com o percentual individualizado da CK.

	Coxa Direita	Coxa Esquerda	Perna Direita	Perna Esquerda
<b>Visão Anterior</b>	0,53*	0,55*	0,54*	0,52*
<b>Visão Posterior</b>	0,58*	0,57*	0,55*	0,53*

\*Correlação estatística significativa  $P=0,01$



## 6 DISCUSSÃO - ESTUDO 1

Neste estudo foi possível apresentar a cinética da  $T_P$  de membros inferiores em atletas de futebol, em diferentes momentos após a realização de partidas oficiais ao longo de duas temporadas, sendo que existe aumento estatístico significativo em todas as RCIs 24 horas após a realização das partidas. Esse quadro apresentou uma queda estatística significativa 48 horas após, mas ainda não suficiente para retornar à condição apresentada pré-jogo (Tabela 2 e Figura 26). Este achado amplia o conhecimento a respeito das respostas fisiológicas apresentadas por atletas de futebol profissional após a realização de partidas oficiais, e apresenta a  $T_P$  como uma nova variável que pode ser quantificada com objetivo de auxiliar no controle da carga de treinamento dos atletas. Além disso, após a consulta em diferentes bases de dados, este é o primeiro estudo que evidencia a cinética da  $T_P$  ao longo do tempo e apresenta resultados consistentes em número de amostras sobre o comportamento da  $T_P$  após a realização de partidas de futebol.

### **Análise Pré-Jogo - M1**

Os valores da  $T_P$  em todas as RCIs aqui estudadas podem ser observados na Tabela 2 e na Figura 26. Assim, quando os dados obtidos são comparados com o estudo de Bouzas *et al.* (2014b), que possuía uma amostra composta por atletas de futebol da categoria sub-19 de um clube da primeira divisão do futebol brasileiro, os resultados apontam para uma  $T_P$  maior nos atletas profissionais,  $\cong 1,5$  °C nas RCIs das coxas e pernas na visão anterior e  $\cong 2,0$  °C na coxa na visão posterior. Estas diferenças podem ser explicadas por questões ligadas a intensidade, tipo de treinamento e no número de partidas disputadas, sendo estes de maior intensidade e quantidade nos atletas profissionais, além de questões maturacionais e morfológicas da estrutura muscular apresentadas pelos atletas jovens, como a menor área de secção transversa do músculo. Também, é possível observar um equilíbrio térmico entre as RCIs contralaterais, o que indica um padrão térmico entre os segmentos corporais analisados.

Já quando comparados com os resultados do estudo de Maior *et al.* (2017), em que a amostra foi composta por atletas de futebol profissional de um clube da primeira divisão do futebol brasileiro, os resultados são relativamente equilibrados,

sendo ligeiramente menores no estudo de Maior *et al.* (2017),  $\cong 0,3$  °C em todas as RCIs, com exceção das coxas na visão anterior. Estas similaridades podem ser justificadas em função da seleção das amostras, atletas de futebol profissional da primeira divisão, entretanto, as pequenas diferenças são esperadas em função dos momentos distintos de coleta, fases de treinamento, variabilidade intersujeitos, dentre outras.

Ao comparar os dados apresentados com os de sujeitos não atletas, apresentados no estudo de Marins *et al.* (2014a), tem-se que a  $T_P$  é maior nos atletas profissionais,  $\cong 2,0$  °C nas RCIs das coxas e pernas na visão anterior e visão posterior. O estado de treinamento, baixo percentual de gordura e o constante esforço físico podem justificar estas diferenças.

Já para análise da CK, os valores aqui obtidos neste momento 159,5 (U/L) (Figura 28) são ligeiramente inferiores aos apresentados no estudo de Coelho *et al.* (2011) média de 192,1 (U/L) e aos do estudo de Mohr *et al.* (2016), revelando assim, uma semelhança entre estes dados coletados em atletas treinados e em condição de competição.

### **Análise 24 horas Pós-Jogo – M2**

Este é um dos pontos mais relevantes deste estudo, onde ficou evidente o aumento estatístico significativo da  $T_P$  em todas as RCIs dos membros inferiores dos atletas 24 horas após a realização das partidas, com o pico de  $T_P$  acontecendo neste momento (Figuras 26, 27 e Tabela 2). As diferenças da  $T_P$  em relação ao M1 em todas as RCIs analisadas são superiores a 1,3 °C e chegando a 1,7 °C nas regiões das coxas na visão anterior. É importante destacar que alguns atletas, em determinadas partidas, apresentaram diferenças superiores a 3,0 °C, sem, no entanto, possuírem qualquer quadro clínico anormal de febre ou lesão, após avaliação da equipe médica.

Este aumento da  $T_P$  resulta na sensação de calor percebida na musculatura exercitada, sendo causada provavelmente pela vasodilatação cutânea com maior fluxo sanguíneo, em maior temperatura, por ser redirecionado das áreas mais internas da musculatura. Esse fenômeno, por sua vez, resulta na vermelhidão (devido ao número adicional de eritrócitos que passam através das áreas) (PUNCHARD *et al.*, 2004; PAULSEN *et al.*, 2012).

Quando comparado com sujeitos normais e jovens atletas em condição de repouso (MARINS *et al.*, 2014a; MARINS *et al.*, 2014b), as diferenças neste momento são superiores a 3,0 °C. E quando comparados a atletas profissionais (MAIOR *et al.*, 2017), a diferença é de  $\cong 1,5$  °C nas RCIs das coxas e pernas na visão anterior e  $\cong 2,0$  °C na coxa na visão posterior, demonstrando assim, que após a participação em uma partida de futebol o processo inflamatório de regeneração do tecido muscular danificado influencia no aumento da  $T_P$ .

Diversos estudos têm indicado que as diferenças contralaterais entre uma RCI e outra são superiores a 0,7°C, o que pode ser um indicativo de lesão (HILDEBRANDT *et al.*, 2010; MARINS *et al.*, 2014b; SILLERO-QUINTANA *et al.*, 2015), ou de prevenção (MARINS *et al.*, 2015a). Entretanto, valores superiores na comparação de uma mesma RCI após a participação em partidas de futebol parece ser uma condição normal, carecendo apenas de adoção de medidas tradicionais de recuperação e acompanhamento.

Na análise da CK, no momento desta pesquisa, os valores aqui apresentados 743 (U/L) (Figura 28) são ligeiramente inferiores aos apresentados no estudo de Coelho *et al.* (2011), com média de 785,8 (U/L), e superiores ao estudo de Mohr *et al.* (2016). Além disso, é possível observar o comportamento similar da  $T_P$  ao apresentado pela análise da CK, seja ela em valores brutos de (U/L), ou seu % individualizado (Figura 28).

É importante destacar que diferentemente da análise da CK que apresenta uma ideia geral do dano muscular, a TRI pode determinar os locais nas musculaturas onde o processo de microlesões e inflamatórios foram mais agudos após um treinamento ou partida. Desta forma, os possíveis desequilíbrios causados pelos microdanos musculares, por menores que sejam, podem ser detectados precocemente, o que é fundamental dentro de um programa de prevenção de lesões, que no caso específico do futebol pode ter um impacto econômico importante ao se evitar que um jogador tenha uma lesão e fique sem condições de jogo por um longo tempo.

### **Análise 48 horas Pós-Jogo – M3**

Neste momento foi possível observar que a  $T_P$  registrada assumiu uma tendência de retorno a valores pré-jogo. Entretanto, as 48 horas após-jogo não

foram suficientes para restabelecer as condições fisiológicas registradas no M1 (Figuras 26 e 27). Este resultado pode ser explicado pelo processo inflamatório ativo presente na musculatura ativa, que persiste até este momento. Dessa forma, resultou em valores mais elevados da  $T_P$ . Neste momento, a atividade inflamatória já apresenta uma curva descendente, o que por sua vez contribuiu para observação de menores valores da  $T_P$ .

Essa curva descendente pode ser um indicativo para comissão técnica de que o atleta começa a apresentar sinais de recuperação. Sendo assim, as atividades podem ser planejadas de forma que não se adicione nova carga física com intensidade elevada a fim de garantir a completa recuperação do atleta. Caso o atleta apresente valores próximos ao observado no momento 24 horas, aconselha-se um período de recuperação maior com o objetivo de garantir a plena recuperação física e possivelmente evitar lesões.

As diferenças apresentadas neste momento em comparação com o pré-jogo também foram observadas no estudo de Fernandes *et al.* (2017), com valores variando de 0,2 °C a 0,7 °C, dependendo da RCI. As diferenças da  $T_P$  em relação ao M1, em todas as RCIs analisadas neste estudo, são superiores a 0,8 °C, chegando a 1,1 °C nas regiões das coxas na visão anterior (Figuras 26 e 27). Estes resultados reforçam a ideia de que as 48 horas de repouso parecem não ser suficientes para recuperação adequada do atleta. Assim, as atividades programadas após as partidas devem ter atenção especial da comissão técnica, tendo em vista o desgaste observado e a recuperação integral não ocorrer rapidamente.

É importante destacar que alguns atletas em determinadas partidas apresentaram diferenças próximas a 2,0 °C na comparação com o pré-jogo, sem, no entanto, possuírem qualquer quadro clínico anormal de febre ou lesão, após avaliação da equipe médica. Este é um sinal para comissão técnica de que estes atletas não estão integralmente recuperados, carecendo de mais descanso e/ou ações que auxiliem a recuperação.

Em determinados momentos após as partidas, os clubes de futebol adotam medidas padronizadas de recuperação e de retorno ao treinamento para todos os atletas de forma conjunta. Entretanto, fica evidente a importância da análise individualizada do estado físico do atleta após as partidas, sendo esta fundamental

na tomada de decisão para escolha da atividade a ser desenvolvida por cada atleta ou grupo de atletas nesse período após os jogos.

Cabe ressaltar a importância da análise individualizada da  $T_P$  e não em grupo, sendo que pontos de cortes individuais devem ser desenvolvidos. Neste estudo foi observado, por exemplo, um atleta que neste momento já apresentava valores de  $T_P$  próximos ao de repouso, bem como o de CK, indicando assim sua plena recuperação física. Entretanto, outros atletas neste mesmo momento apresentavam valores de  $T_P$  e CK próximos aos observados 24 horas, ou seja, a recuperação destes não foi efetiva e em caso de um novo esforço físico intenso poderiam ter perda de rendimento ou até mesmo vir a apresentar uma lesão muscular.

Neste momento, para análise da CK, os valores aqui apresentados 468,3 (U/L) (Figura 28) são superiores aos apresentados no estudo de Coelho *et al.* (2011), com média de 388,2 (U/L). Além disso, é possível observar o comportamento similar da  $T_P$  ao apresentado pela análise da CK, seja ela em valores brutos de (U/L), ou seu % individualizado (Figura 28).

### **Outras Análises**

Diferentes estudos têm relatado a existência de simetria entre duas RCIs contralaterais, sejam elas na visão anterior ou posterior (HILDEBRANDT *et al.*, 2010; MARINS *et al.*, 2014b; MARINS *et al.*, 2015a; MAIOR *et al.*, 2017). O mesmo foi observado neste estudo, independente do momento estudado, com o maior delta entre duas RCIs de 0,2 °C (Tabela 2). Cabe destacar que, mesmo com a participação em uma partida oficial, as simetrias entre as RCIs permaneceram no M2, condição esta que poderia levar a um quadro de desequilíbrio entre os membros. Deve-se registrar que em todos os momentos alguns atletas apresentaram assimetrias contralaterais, sem por isso possuírem algum tipo de lesão. Entretanto, estes resultados chamavam a atenção da equipe técnica para investigar as possíveis causas destes desequilíbrios. Dessa maneira, era possível detectar se existia algum problema com o atleta ou se este era um padrão normal individualizado.

Já na comparação entre as RCIs na visão anterior com posterior, pode-se observar que existiu diferença significativa, em sua maioria, nos momentos M1 e M3,

sendo as variações de  $\cong 0,4$  °C (Tabela 2). É interessante observar que na maioria das RCIs analisadas no M2 não existiu diferença estatística significativa, entre a visão anterior e posterior. Desse modo, percebe-se que a participação em uma partida de futebol resultou em equilíbrio  $T_P$  entre a região anterior e posterior.

Durante a realização de uma partida de futebol existe grande exigência dos músculos quadríceps femoral e ísquiotibiais, o que resulta na fadiga dos mesmos. Logo, o equilíbrio entre estas duas regiões é fundamental para prevenção de lesões; um grande desequilíbrio pode acarretar em lesões musculares e do joelho (WEBER *et al.*, 2012).

Neste trabalho foi encontrada uma correlação positiva significativa e moderada (MUKAKA, 2012) entre a  $T_P$  registrada em cada RCI analisada com o percentual individualizado da CK (Tabela 3). Este resultado reforça a ideia de que a  $T_P$  pode ser utilizada como uma nova variável a ser quantificada, auxiliando no controle da carga de treinamento dos atletas de futebol, uma vez que a CK é um indicador do dano muscular observado após as partidas, e a  $T_P$  um indicador da resposta inflamatória advinda deste dano muscular.

Este achado é diferente do estudo de Bandeira *et al.* (2012), onde não existiu correlação entre as duas variáveis. Estas diferenças podem ser explicadas pelo fato de que os autores definiram em seu método apenas dois momentos de coleta de dados (repouso e 24 horas após exercício), além do fato de utilizarem o valor bruto da CK em (U/L). No estudo de Maior *et al.* (2017) foi identificada uma fraca correlação entre a  $T_P$  e a CK, que pode ser explicada pela coleta dos dados realizada apenas na condição de repouso, e por trabalhar com valor bruto da CK em (U/L).

Ao analisar a correlação entre a  $T_P$  e a CK algumas considerações devem ser feitas. A CK é uma medida indicativa do dano muscular, mas esta é altamente variável e sofre interferência do dano muscular gerado em qualquer região corporal. Assim, se um atleta sofre uma pancada na região das costas, braços ou outra região que não a exercitada, apresenta, por sua vez, valores de CK mais elevados, não causados pelo maior desgaste da musculatura ativa. Dessa forma, as coletas de dados em partidas oficiais podem apresentar essas características, uma vez que durante as partidas as condições ambientais são variadas e não podem ser controladas.

É importante destacar que neste trabalho não foram realizadas a retiradas de dados que podem ser considerados *outliers*, o que contribui para a obtenção de menores valores de correlação entre as duas variáveis. Outra consideração que deve ser feita é de que a CK é uma medida global do dano muscular, sendo a TRI importante para localização de pontos de hipertermia localizados. Ou seja, ela permite a identificação de regiões específicas mais desgastadas, mesmo que os valores de CK indiquem que a recuperação está completa.

Podem ser consideradas como limitações o fato de não ter sido possível coletar os dados em todas as partidas da competição nas temporadas analisadas, bem como o de não se ter conseguido coletar dados em mais períodos após as partidas. Além disso, seria interessante se outras variáveis bioquímicas tivessem sido coletadas, tais como IL-6 e TNF- $\alpha$ , por exemplo. É importante destacar que estes resultados são específicos para atletas de futebol profissionais, sendo que a extrapolação para outras modalidades, ou sujeitos não profissionais, deve ser vista com cautela. Como indicação para estudos futuros, recomenda-se a ampliação do período de análise chegando até 96 horas após-exercício, o que simula a partida de futebol e induz o dano muscular, bem como a ampliação das variáveis bioquímicas coletadas.

## 7 CONCLUSÃO - ESTUDO 1

Neste estudo foi apresentada a cinética da  $T_P$  de membros inferiores em atletas de futebol, em diferentes momentos, pré-jogo, 24 horas após e 48 horas após a realização de partidas oficiais, ao longo duas temporadas do campeonato brasileiro da Série A, e com base nas evidências científicas encontradas. Conclui-se que existe aumento significativo em todas as RCIs 24 horas após a realização das partidas, apresentando uma queda significativa 48 horas após, mas ainda não suficiente para retornar a condição apresentada pré-jogo, indicando que este tempo não é suficiente para retornar integralmente a condição física apresentada pré-jogo.

Foi possível observar a existência de simetria entre duas RCIs contralaterais, sejam elas na visão anterior ou posterior em todos os momentos estudados. Já na comparação entre as RCIs na visão anterior com posterior, foi possível observar que existiu diferença significativa em sua maioria nos momentos M1 e M3.

A  $T_P$  de membros inferiores apresenta um comportamento ao longo do tempo semelhante ao observado pela CK. Ainda, estas duas variáveis possuem correlação estatística significativa moderada e positiva quando a CK é analisada de forma individualizada em seu percentual. Assim, a  $T_P$  pode ser considerada uma medida indireta do processo inflamatório decorrente do dano muscular gerado pelo exercício, em especial aquele com característica excêntrica, observado durante as partidas. Ou seja, pode ser uma maneira não invasiva de mensurar uma das respostas do organismo (calor) ao processo inflamatório, sendo assim, uma variável associada ao dano muscular gerado em função das partidas e treinamentos, que pode ser utilizada como estratégia para de controle de treinamento em atletas de alto rendimento.



## 8 OBJETIVOS - ESTUDO 2

8.1 Novo método para análise da  $T_P$  de membros inferiores em atletas de futebol avaliado através da termografia infravermelha

Os objetivos deste estudo foram: (1) apresentar um novo método para análise da  $T_P$  de membros inferiores em atletas de futebol de elite baseada na quantificação do número de pixels, estratificado por faixas de temperaturas e zonas de referência de temperatura,; (2) analisar o número total de pixels nas pernas direita e esquerda nas visões anterior e posterior nos diferentes momentos estudados; e (3) analisar a cinética da  $T_P$  de membros inferiores em atletas de futebol de elite após a participação em partidas oficiais, nos momentos pré-jogo, 24 e 48h pós-jogo, utilizando este método.

### **Hipótese nula ( $H_0$ )**

A  $T_P$  de membros inferiores de atletas de futebol, baseada na quantificação do número de pixels e estratificada por faixas de temperaturas e zonas de referência de temperaturas, não apresenta alterações estatisticamente significativas após a participação de partidas oficiais, nos momentos pré-jogo, 24 e 48h pós-jogo, bem como no número totais de pixels nas pernas direita e esquerda nas visões anterior e posterior nos diferentes momentos estudados.

### **Hipótese alternativa ( $H_1$ )**

A  $T_P$  de membros inferiores de atletas de futebol, baseada na quantificação do número de pixels e estratificada por faixas de temperaturas e zonas de referência de temperaturas, apresenta alterações estatisticamente significativas após a participação de partidas oficiais, nos momentos pré-jogo, 24 e 48h pós-jogo, bem como no número total de pixels nas pernas direita e esquerda, nas visões anterior e posterior, nos diferentes momentos estudados.

## 9 MATERIAIS E MÉTODOS - ESTUDO 2

Os itens Cuidados Éticos, Amostra, Caracterização e Avaliação Física dos Voluntários, Caracterização das Partidas, bem como o número de partidas, momentos de coleta, procedimentos, equipamentos para coleta das IT são os mesmos previamente descritos no Estudo 1.

### 9.1 Delineamento experimental - estudo 2

Neste momento, será apresentado um novo método de análise das IT dos membros inferiores na visão anterior e uma na visão posterior, que se diferem dos apresentados no Estudo 1 e caracterizam o Estudo 2.

Para análise das frequências do número de pixels foi necessário realizar a extração dos dados de temperatura das IT, sendo que para isso foi realizado seguinte procedimento:

- 1°) Abrir a IT em *software* específico (Flir Tools®);
- 2°) Exportar os dados de temperatura para o formato arquivo de valores separados por vírgulas do (Microsoft Excel®) (.csv);
- 3°) Abrir o (Microsoft Excel®), clicar na aba dados, acionar o comando importar dados de texto, selecionar o arquivo (.csv) salvo anteriormente, selecionar tipo de campo delimitado, marcar delimitadores, tabulação e ponto e vírgula, formato de dados da coluna geral e concluir.

Neste momento, através de uma planilha previamente preparada por meio de fórmulas e comandos no (Microsoft Excel®), a frequência do número de pixels em cada faixa de temperatura é automaticamente contabilizada. As faixas de temperatura em °C e a indicação das zonas de referência são apresentadas na Tabela 4. O mesmo procedimento foi realizado para análise da IT na visão anterior e posterior. A Figura 29 apresenta as delimitações das regiões anatômicas na perna direita e esquerda, visão anterior (A) e posterior (B) para extração da frequência de pixels.

A definição da amplitude das faixas de temperatura (28 – 36) apresentadas na Tabela 2 foram baseadas na experiência prévia dos pesquisadores e profissionais na comissão técnica na coleta a análise das IT em atletas de futebol, de forma que

através da observação, em condições normais, a  $T_P$  não apresenta valores superiores ou inferiores a esta amplitude. Além disso, seguiu-se como referência o estudo de Fernandes *et al.* (2017). Já a proposição de subdivisão em zonas de referência foi baseada unicamente na experiência dos pesquisadores na análise das IT em atletas de futebol.

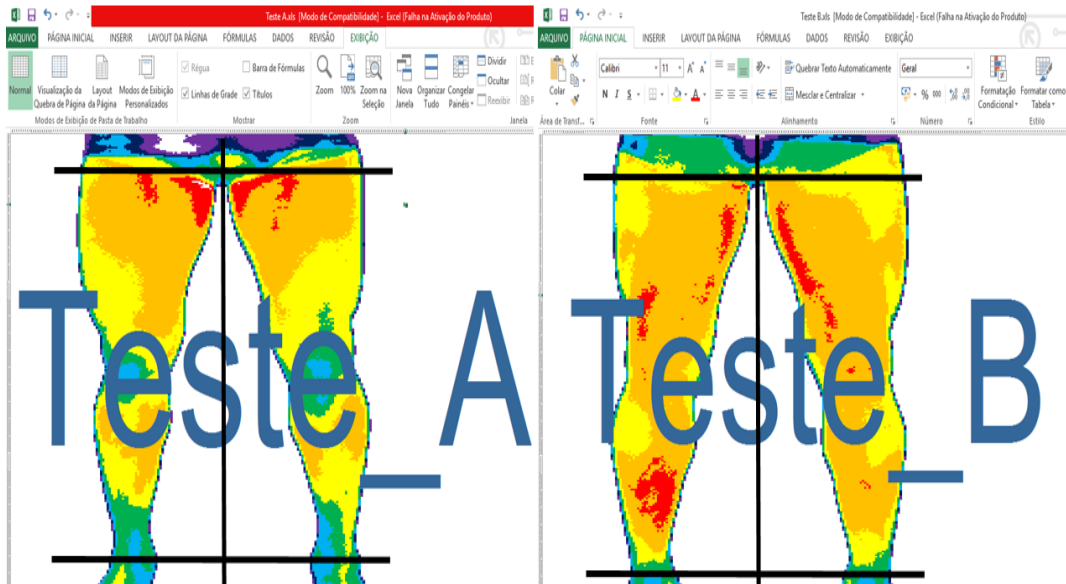
Para melhor entendimento de como são distribuídos os valores dos limites superiores das faixas de temperatura se apresenta o exemplo a seguir:

Valor de  $T_P$  registrado na célula da matriz de dados 29,0 °C é computado na faixa de 29-30 e assim para as demais faixas de temperatura.

**Tabela 4.** Faixas de temperatura em °C e suas respectivas zonas de referência.

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 29.** Delimitações das regiões anatômicas na visão anterior (A) e posterior (B) para extração da frequência de pixels na perna direita e esquerda.



Fonte: Dados da pesquisa.

## 9.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA - ESTUDO 2

Todas as variáveis foram testadas quanto à sua normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk. Os resultados foram considerados normais, sendo apresentados como média  $\pm$  Dp. A ANOVA *One-Way* para medidas repetidas, seguida do post-hoc de Tukey, foi utilizada para comparação dos valores da  $T_P$  em todas as RCIs, CK, frequência de pixels nas pernas direita e esquerda em todas as faixas de temperatura e para zonas de referência de temperatura, nos diferentes momentos de coleta de dados. O coeficiente de correlação de Pearson foi utilizado para variáveis  $T_P$  e CK. O teste T pareado será utilizado para comparação das RCIs do lado direito com esquerdo e visão anterior com posterior. O nível de significância adotado foi  $\alpha < 0,05$ . Todas as análises foram conduzidas nos programas estatísticos (Sigmaplot®, 12.0), (SPSS®, 17) e (Medcalc®, 13).

## 10 RESULTADOS - ESTUDO 2

A Tabela 5 apresenta a frequência do número de pixels e seu percentual, separados por faixas de temperatura em C°, para perna direita nos diferentes momentos estudados, nas visões anterior e posterior. Já a Tabela 6 apresenta a frequência do número de pixels e seu percentual, separados por faixas de temperatura em C°, para perna esquerda nos diferentes momentos estudados nas visões anterior e posterior.

**Tabela 5.** Frequência do número de pixels e seu percentual, separados por faixas de temperatura em C°, para perna direita nos diferentes momentos estudados, nas visões anterior e posterior.

VISÃO ANTERIOR									
Perna Direita									
		Zona fria			Zona Neutra		Zona Quente		
		28-29	29-30	30-31	31-32	32-33	33-34	34-35	35-36
<b>M1</b>	<b>N Pixels</b>	389,0*	795,6*	1551,9*	2187,6 <sup>#</sup>	2253,9 <sup>∅</sup>	977,3*	119,8*	16,6 <sup>#</sup>
	<b>% N Pixels</b>	4,7	9,7	19,0	26,8	26,5	11,6	1,4	0,2
<b>M2</b>	<b>N Pixels</b>	159,4	278,1 <sup>†</sup>	659,5 <sup>†</sup>	1554,6 <sup>†</sup>	2622,8	2579,5 <sup>†</sup>	864,5 <sup>†</sup>	145,9
	<b>% N Pixels</b>	1,7	3,1	7,3	17,1	29,8	29,4	9,9	1,6
<b>M3</b>	<b>N Pixels</b>	201,2	438,2	1039,2	2116,9	2907,8	1713,6	333,6	48,6
	<b>% N Pixels</b>	2,2	4,8	11,7	23,9	33,4	19,8	3,7	0,5
VISÃO POSTERIOR									
<b>M1</b>	<b>N Pixels</b>	295,8*	436,8*	1319,1*	2835,8*	2530,7 <sup>∅</sup>	1302,0*	94,6 <sup>∅</sup>	3,0
	<b>% N Pixels</b>	3,2	4,6	14,4	31,4	29,7	15,5	1,1	0,0
<b>M2</b>	<b>N Pixels</b>	181,0	192,1	345,7	1377,2 <sup>†</sup>	2939,5 <sup>†</sup>	3066,5 <sup>†</sup>	966,8 <sup>†</sup>	105,7
	<b>% N Pixels</b>	1,9	2,0	3,6	14,3	31,9	34,4	10,7	1,1
<b>M3</b>	<b>N Pixels</b>	199,3	254,7	553,5	1852,8	3512,2	2388,4	264,6	3,5
	<b>% N Pixels</b>	2,1	2,8	6,0	20,3	38,8	26,9	3,0	0,0

<sup>#</sup> dif. sig. M1 vs M2; <sup>∅</sup> dif. sig. M1 vs M3; \* dif. sig. M1 vs M2 e M3; <sup>†</sup> dif. sig. M2 vs M3

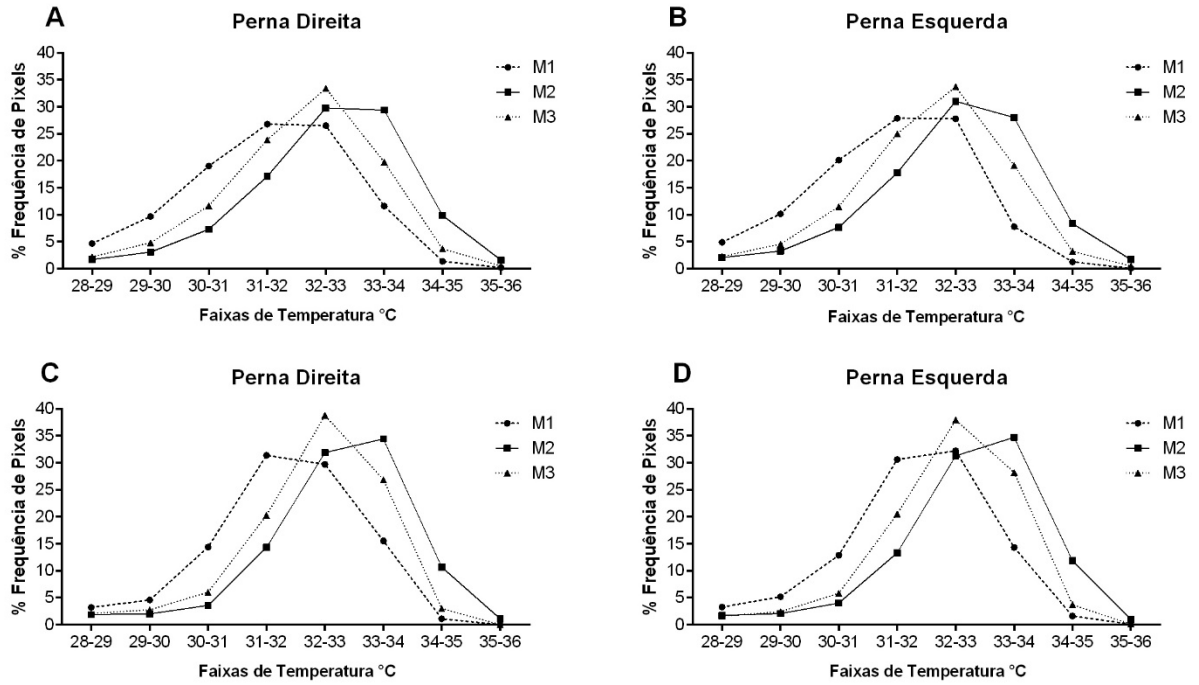
**Tabela 6.** Frequência do número de pixels e seu percentual, separados por faixas de temperatura em C°, para perna esquerda nos diferentes momentos estudados, nas visões anterior e posterior.

<b>VISÃO ANTERIOR</b>								
<b>Perna Esquerda</b>								
	<b>28-29</b>	<b>29-30</b>	<b>30-31</b>	<b>31-32</b>	<b>32-33</b>	<b>33-34</b>	<b>34-35</b>	<b>35-36</b>
<b>M1 N Pixels</b>	411,8*	850,6*	1646,2*	2298,7 <sup>#</sup>	2266,0*	649,0*	103,8 <sup>#</sup>	8,8 <sup>#</sup>
<b>% N Pixels</b>	4,9	10,2	20,1	27,9	27,8	7,8	1,3	0,1
<b>M2 N Pixels</b>	192,2	296,7	680,7 <sup>†</sup>	1597,0 <sup>†</sup>	2737,6	2440,0 <sup>†</sup>	725,9 <sup>†</sup>	152,1 <sup>†</sup>
<b>% N Pixels</b>	2,1	3,3	7,7	17,8	31,0	28,0	8,4	1,7
<b>M3 N Pixels</b>	211,5	417,7	1019,2	2196,1	2884,9	1604,3	284,4	41,3
<b>% N Pixels</b>	2,3	4,6	11,5	25,0	33,7	19,1	3,2	0,5
<b>VISÃO POSTERIOR</b>								
<b>M1 N Pixels</b>	287,3*	471,2*	1158,7*	2698,6*	2708,9 <sup>∅</sup>	1206,8*	137,0 <sup>#</sup>	10,2
<b>% N Pixels</b>	3,3	5,2	12,9	30,6	32,2	14,3	1,6	0,1
<b>M2 N Pixels</b>	153,5	191,2	372,4	1254,5 <sup>†</sup>	2840,2	3023,0 <sup>†</sup>	1032,2 <sup>†</sup>	88,4 <sup>†</sup>
<b>% N Pixels</b>	1,7	2,1	4,0	13,3	31,3	34,7	11,9	1,0
<b>M3 N Pixels</b>	138,4	213,4	520,2	1822,3	3321,2	2398,6	310,1	7,0
<b>% N Pixels</b>	1,6	2,4	5,8	20,5	37,9	28,2	3,7	0,1

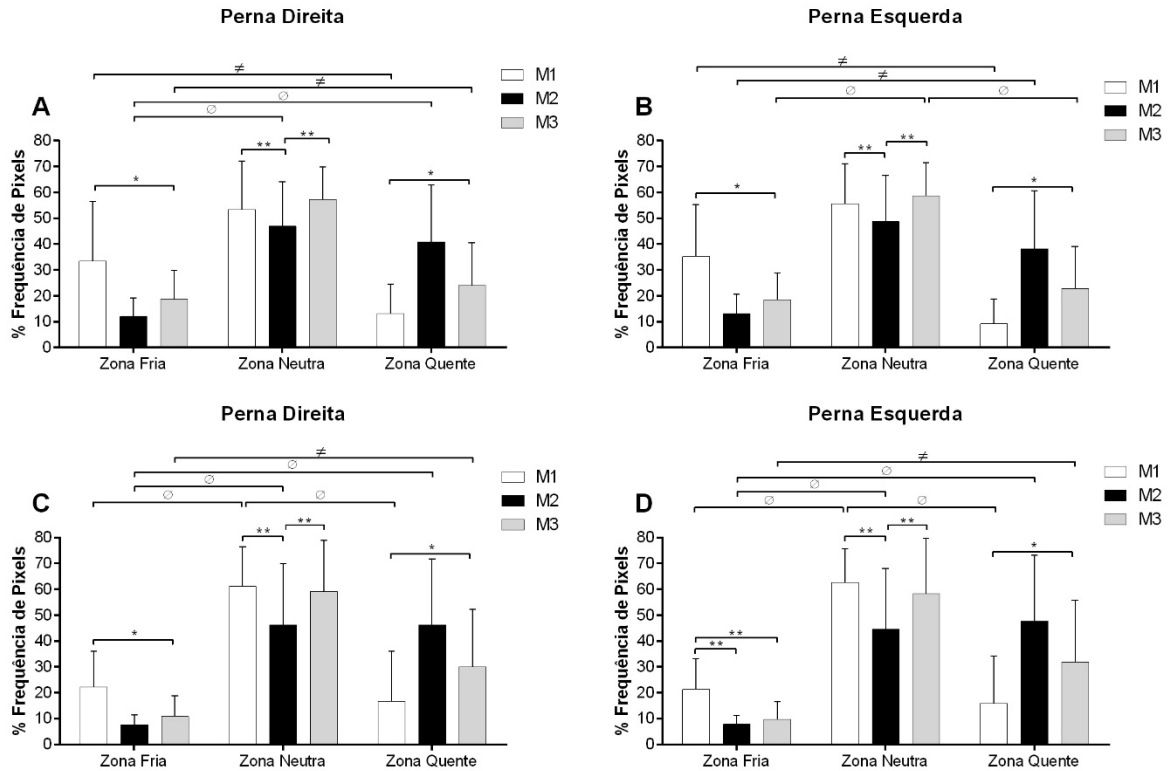
<sup>#</sup> dif. sig. M1 vs M2; <sup>∅</sup> dif. sig. M1 vs M3; \* dif. sig. M1 vs M2 e M3; <sup>†</sup> dif. sig. M2 vs M3

A Figura 30 apresenta o percentual da frequência de pixels em cada faixa de temperatura em C°, nas pernas direita e esquerda e visão anterior e posterior, nos diferentes momentos estudados. Na Figura 31 é possível observar o percentual da frequência de pixels em cada zona de referência de temperatura, nas pernas direita e esquerda e visão anterior e posterior, nos diferentes momentos estudados. A Figura 32 apresenta os números totais de pixels nas pernas direita e esquerda, nas visões anterior e posterior, nos diferentes momentos estudados.

**Figura 30.** Percentual da frequência de pixels em cada faixa de temperatura em C°, nas pernas direita e esquerda e visão anterior e posterior nos diferentes momentos estudados nos momentos M1, M2 e M3, nas visões anterior (A; B) e posterior (C; D).



**Figura 31.** Percentual da frequência de pixels em cada zona de referência de temperatura, nas pernas direita e esquerda e visão anterior e posterior, nos diferentes momentos estudados nos momentos M1, M2 e M3, nas visões anterior (A; B) e posterior (C; D).

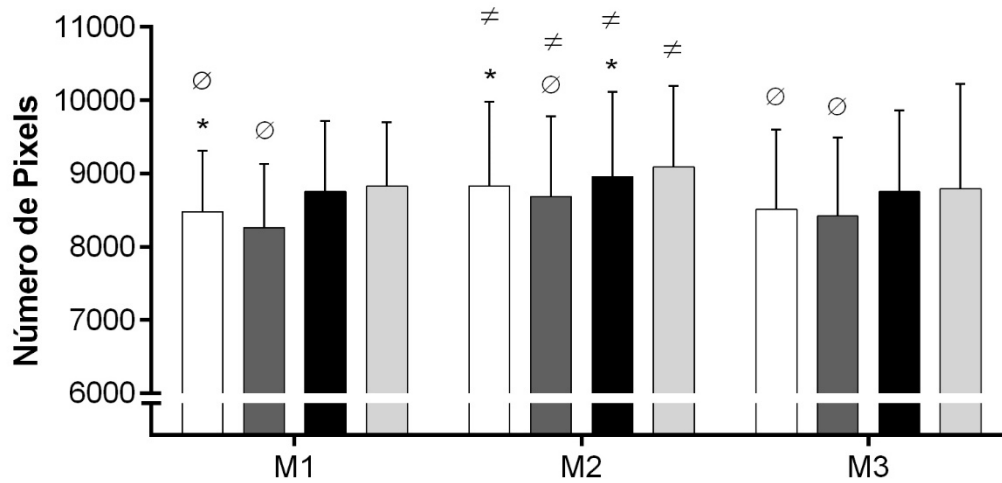


\* dif. sig. Entre todos os momentos; \*\* dif. sig. Entre os momentos indicados; ∅ dif. sig. Entre as zonas de temperatura para os momentos indicados; ≠ dif. sig. Entre todas as zonas de temperatura



**Figura 32.** Número totais de pixels nas pernas direita e esquerda nas visões anterior e posterior, nos diferentes momentos estudados nos momentos M1, M2 e M3.

- Perna Direita Anterior
- Perna Esquerda Anterior
- Perna Direita Posterior
- Perna Esquerda Posterior



\* dif. sig. Entre perna direita e esquerda; ∅ dif. sig. Entre as visões anterior e posterior em cada perna;  
 ≠ dif. sig. Entre o momento M2 com os demais

## 11 DISCUSSÃO - ESTUDO 2

A principal contribuição deste estudo foi apresentar um novo modelo para análise da  $T_P$  de membros inferiores em atletas de futebol avaliada através da TRI, ao longo dos diferentes momentos, M1 - (Pré-Jogo), M2 - (24 horas após) e M3 - (48 horas após) ao longo da realização de partidas oficiais.

Para análise da frequência do número de pixels e seu percentual, separados por faixas de temperatura em  $^{\circ}\text{C}$ , para pernas direita e esquerda nos diferentes momentos estudados e nas visões anterior e posterior, observa-se que, no M1, as maiores concentrações de pixels e percentuais ocorrem nas faixas 31-32  $^{\circ}\text{C}$  e 32-33  $^{\circ}\text{C}$ , com os menores valores registrados nas extremidades 28-29  $^{\circ}\text{C}$ ; 29-30  $^{\circ}\text{C}$  e 34-35  $^{\circ}\text{C}$ ; 35-36  $^{\circ}\text{C}$  (Tabelas 4; 5 e Figura 30).

Pode-se observar que a participação em partidas oficiais acarreta aumentos estatísticos significativos do número de pixels nas faixas de temperatura 33-34  $^{\circ}\text{C}$  e 34-35  $^{\circ}\text{C}$ , com o pico acontecendo nesta primeira (Tabelas 4; 5 e Figura 30). Para que este aumento aconteça, automaticamente acontece uma redução do  $n^{\circ}$  de pixels e de seu percentual nas faixas de temperatura mais frias, indicando assim, uma relação dependente entre aumento do desgaste muscular com maior concentração de pixels nas faixas mais quentes.

É importante destacar que não é possível realizar comparações com outros estudos, uma vez que este tipo de método é inédito, o que permite uma nova forma de interpretação das IT. O artigo que apresenta um método mais próximo à esta proposta é o estudo de Formenti *et al.* (2017), onde é possível identificar a movimentação do  $n^{\circ}$  de pixels dentro de uma RCI selecionada manualmente na região da coxa antes e após a realização do exercício. Assim, por mais que a média da  $T_P$  desta região nos dois momentos seja bem próxima uma da outra, ao analisar a frequência do  $n^{\circ}$  de pixels, percebe-se na análise após-exercício uma maior concentração em temperaturas mais elevadas em áreas específicas da RCI, o que pode ser percebido apenas na análise qualitativa e na quantitativa do  $n^{\circ}$  de pixels, mas não na análise da média da  $T_P$ .

Outra possibilidade de análise importante que é proposta neste estudo é a estratificação os dados das faixas de temperatura em zonas de referência de temperatura, conforme proposta apresentada na Tabela1. Neste processo o número de variáveis a serem estudadas reduz para apenas três. Na Figura 31 é possível

observar que, ao utilizar este método no M1, as maiores concentrações do percentual da frequência de pixels estão posicionadas na zona fria e zona neutra, com destaque para esta última, além de existir diferença estatística significativa entre elas. Na zona neutra, o percentual da frequência de pixels se difere estatisticamente dos demais momentos na perna direita e esquerda nas visões anterior e posterior, reforçando assim o achado de maior frequência de pixels neste momento.

Já no M2, ou seja, 24 horas após-jogo, existe uma redução significativa do percentual da frequência de pixels na zona fria bem como na zona neutra (Figura 31). Este resultado demonstra que a participação em uma partida de futebol acarreta aumentos significativos da  $T_P$ , que, neste caso específico de aumento do percentual de pixels na zona quente, chega a valores superiores a 40% do total de pixels.

No M3 é possível observar que o percentual da frequência de pixels começa a retornar a valores pré-jogo. Entretanto, o período de recuperação parece não ser suficiente para restabelecer as condições físicas dos atletas (Figura 31). Na zona neutra existe o restabelecimento dos valores pré-jogo, restando ainda um aumento na zona quente em comparação com a zona fria.

Em uma análise do número de pixels totais divididos em cada membro nas visões anterior e posterior (Figura 31), observa-se que, para todas as regiões estudadas, existe um aumento significativo do número de pixels no M2 em comparação com os demais. Este aumento pode ser justificado por um dos sinais cardinais observado no processo de recuperação, o inchaço, que é o resultado do aumento da passagem de líquido dos vasos sanguíneos dilatados e permeáveis para tecidos circundantes e infiltração de células no tecido danificado (PUNCHARD *et al.*, 2004; PAULSEN *et al.*, 2012). No estudo de Neves *et al.* (2015) foi demonstrado que 24 horas após a realização do exercício com característica excêntrica existe um aumento na espessura da musculatura ativa avaliada através de ultrassonografia. Em nosso estudo, este aumento do número total de pixels em cada membro analisado pode ser justificado por esta resposta fisiológica.

Para análise do número total de pixels é possível observar que existe diferença significativa entre a visão anterior e posterior nas duas pernas e em todos os momentos estudados (Figura 32). Esta diferença pode ser justificada em função dos limites de temperatura previstos na planilha de extração de dados (28 e 36 °C),

ou seja, todos os valores acima e abaixo não são computados. É comum nas análises da visão anterior que os joelhos apresentem temperaturas abaixo de 28 °C, que, por sua vez, não são computados na planilha. Já na visão posterior este tipo de situação não acontece (STROPPA *et al.*, 2017). Assim, nesse tipo de método, estas diferenças podem ser consideradas normais.

Outra consideração que pode ser feita partindo da análise do número total de pixels é a comparação entre perna direita e esquerda nas visões estudadas, onde é possível observar que no M1 e M2 na visão anterior existe diferença estatística significativa entre os dois membros, sendo o maior número de pixels registrado na perna direita, e ainda existe diferença no M2 na visão posterior com maior número de pixels na perna esquerda. Estes resultados mostram uma tendência de assimetria entre os membros, sendo este maior na perna direita, que pode aumentar com a participação nos jogos, já que pode existir uma sobrecarga maior na perna direita na visão anterior e para compensar uma sobrecarga maior na perna esquerda na visão posterior.

Como limitação deste estudo destaca-se a elevada especificidade da população estudada. Ou seja, os resultados aqui apresentados podem não ocorrer em outros esportes por terem uma demanda metabólica e biomecânica diferente. O tempo de coleta de dados não permite determinar o tempo adequado necessário para recuperação completa do atleta.

A aplicação deste novo método apresentado deverá ser “termopixelgrafia”, pois ampliar o conhecimento a respeito das respostas fisiológicas apresentadas por atletas de futebol profissional após a realização de partidas oficiais, e apresentar a estratificação do número de pixels, que será separada por faixas de temperatura e zonas de referências. Assim, se apresenta como uma nova variável que pode ser quantificada com objetivo de auxiliar no controle da carga de treinamento dos atletas. Além disso, esse método apresenta características diferentes dos métodos atuais, pois pode proporcionar maior agilidade, contemplação de todas as áreas anatômicas dos músculos, análise localizada e global do número de pixels em cada faixa de temperatura ou zonas de referência, além de não necessitar desenhar marcadores nas IT, o que deixa o processo mais ágil e reduz possíveis erros nas demarcações. Tudo isso permite ao avaliador acompanhar as variações em cada zona de referência de temperatura de interesse.

Esse método pode ser utilizado em *softwares* e programas específicos que visem auxiliar no processo de controle da carga de treinamento, prevenção de lesões e acompanhamento do processo de recuperação. Como sugestão, é necessário ter atenção para o monitoramento da região adutora, uma vez que esta apresenta alto índice de lesão. Para outras modalidades esportivas é possível alterar as faixas de temperatura ajustando da melhor forma as necessidades dos avaliadores. Além disso, esse método facilita as análises dos dados de  $T_P$  pelo avaliador, uma vez que reduz o número de variáveis estudadas com a proposta baseada na divisão de zonas de referência, podendo ser aplicada em *softwares* e programas específicos que visem auxiliar no processo de controle da carga de treinamento, prevenção de lesões e acompanhamento do processo de recuperação.

Como sugestão, considera-se que nos estudos futuros o tempo de análise seja ampliado, bem como a relação entre intensidade do exercício, dano muscular e flutuação dos pixels nas zonas de referência seja avaliada em condições controladas, fora do ambiente do jogo.

## 12 CONCLUSÃO - ESTUDO 2

Foi apresentado um novo método aqui denominado “termopixelgrafia” para análise da  $T_P$  de membros inferiores em atletas de futebol de elite, que é baseado na quantificação do número de pixels estratificada por faixas de temperaturas e zonas de referência de temperatura, avaliadas através da TRI. Este método facilita as análises dos dados de  $T_P$  pelo avaliador, uma vez que reduz o número de variáveis estudadas com a proposta baseada na divisão de zonas de referência, podendo ser aplicado em *softwares* e programas específicos que visem auxiliar no processo de controle da carga de treinamento, prevenção de lesões e acompanhamento do processo de recuperação.

A quantificação do número de pixels das IT e o processo de análise das imagens é mais rápido, preciso, contempla todas as partes dos músculos das coxas e pernas e não exige elevada experiência prévia do avaliador na extração dos dados, uma vez que estes são produzidos de forma automática pela planilha previamente preparada.

Ademais, ficou demonstrado que as zonas de referência aqui apresentadas são variáveis sensíveis às mudanças acarretadas pelas partidas de futebol, podendo ser utilizadas no controle do treinamento e identificação do estado físico do atleta.

## REFERÊNCIAS

ABBAS, A. K. *et al.* **Abbas: cellular and molecular immunology**. 7 ed. Saunders 2012.

AL-NAKHLI, H. H. *et al.* The Use of Thermal Infra-Red Imaging to Detect Delayed Onset Muscle Soreness. **Journal of Visualized Experiments : JoVE**, n. 59, p. 3551, 01/22 2012.

ALEGRANCI, P. *et al.* The Predominance of Alternatively Activated Macrophages Following Challenge with Cell Wall Peptide-Polysaccharide After Prior Infection with *Sporothrix schenckii*. **Mycopathologia**, v. 176, n. 1, p. 57-65, 2013.

ALVES, A. L. *et al.* Individual analysis of creatine kinase concentration in Brazilian elite soccer players. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 21, p. 112-116, 2015.

BAGARONE, A. **Correlation between clinical and telethermographic evaluation in overuse injuries treatment**. Turin: [s.n.], 1987. p. 64-69

BAIN, A.; JAY, O. Does summer in a humid continental climate elicit an acclimatization of human thermoregulatory responses? **European Journal of Applied Physiology**, v. 111, n. 6, p. 1197-1205, 2011.

BAIRD, M. F. *et al.* Creatine-Kinase- and Exercise-Related Muscle Damage Implications for Muscle Performance and Recovery. **Journal of Nutrition and Metabolism**, v. 2012, p. 13, 2012.

BANDEIRA, F. *et al.* Pode a termografia auxiliar no diagnóstico de lesões musculares em atletas de futebol? **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 18, p. 246-251, 2012.

\_\_\_\_\_. A termografia no apoio ao diagnóstico de lesão muscular no esporte. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 20, p. 59-64, 2014.

BANFI, G. *et al.* Metabolic markers in sports medicine. **Adv Clin Chem**, v. 56, p. 1-54, 2012.

BANGSBO, J. **Fitness training in football : a scientific approach**. [Copenhagen], Denmark: August Krogh Institute, University of Copenhagen, 1994.

BAOGE, L. *et al.* Treatment of Skeletal Muscle Injury: A Review. **ISRN Orthopedics**, v. 2012, 7 p.

BARCELOS, E. Z. *et al.* A Combined Method for Segmentation and Registration for an Advanced and Progressive Evaluation of Thermal Images. **Sensors (Basel, Switzerland)**, v. 14, n. 11, p. 21950-21967, 2014.

BHARGAVA, A.; CHANMUGAM, A.; HERMAN, C. Heat transfer model for deep tissue injury: a step towards an early thermographic diagnostic capability. **Diagn Pathol**, v. 9, p. 36, 2014.

BRANCACCIO, P.; LIPPI, G.; MAFFULLI, N. Biochemical markers of muscular damage. **Clin Chem Lab Med**, v. 48, n. 6, p. 757-67, 2010.

\_\_\_\_\_. *et al.* Serum enzyme monitoring in sports medicine. **Clin Sports Med**, v. 27, n. 1, p. 1-18, 2008.

\_\_\_\_\_. MAFFULLI, N.; LIMONGELLI, F. M. Creatine kinase monitoring in sport medicine. **Br Med Bull**, v. 81-82, p. 209-30, 2007.

BRUEHL, S. *et al.* Validation of Thermography in the Diagnosis of Reflex Sympathetic Dystrophy. **The Clinical Journal of Pain**, v. 12, n. 4, p. 316-325, 1996.

CASTAGNA, C. *et al.* AEROBIC FITNESS AND YO-YO CONTINUOUS AND INTERMITTENT TESTS PERFORMANCES IN SOCCER PLAYERS: ACORRELATION STUDY. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 20, n. 2, p. 320-325, 2006.

CHARKOUDIAN, N. Mechanisms and modifiers of reflex induced cutaneous vasodilation and vasoconstriction in humans. **J Appl Physiol**, v. 109, n. 4, p. 1221-8, Oct 2010.

COELHO, D. B. *et al.* Analysis of the trends of creatine kinase levels during the preseason of a professional soccer team. **Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano**, v. 16, p. 129-135, 2014.

\_\_\_\_\_. *et al.* Cinética da creatina quinase em jogadores de futebol profissional em uma temporada competitiva. **Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano**, v. 13, p. 189-194, 2011.

\_\_\_\_\_. *et al.* Analysis of chronic physiological demand of an annual soccer season. **Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano**, v. 17, p. 400-408, 2015.

\_\_\_\_\_. *et al.* Assessment of acute physiological demand for soccer. **Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano**, v. 15, p. 667-676, 2013.

COSTA, C. M. A. *et al.* Daily oscillations of skin temperature in military personnel using thermography. **Journal of the Royal Army Medical Corps**, September, 2015.

COSTA, R. L. F. P. B.; VAISBERG, M. W. Influências do exercício na resposta imune. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 8, p. 167-172, 2002.

CRUVINEL, W. D. M. *et al.* Sistema imunitário: Parte I. Fundamentos da imunidade inata com ênfase nos mecanismos moleculares e celulares da resposta inflamatória. **Revista Brasileira de Reumatologia**, v. 50, p. 434-447, 2010.



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

DAVIE, A.; AMOORE, J. Best practice in the measurement of body temperature. **Nurs Stand**, v. 24, n. 42, p. 42-9, 2010.

EDWARDS, A. M.; CLARK, N. A. Thermoregulatory observations in soccer match play: professional and recreational level applications using an intestinal pill system to measure core temperature. **Br J Sports Med**, v. 40, n. 2, p. 133-8, 2006.

FEHRENBACH, E.; SCHNEIDER, M. E. Trauma-Induced Systemic Inflammatory Response versus Exercise-Induced Immunomodulatory Effects. **Sports Medicine**, v. 36, n. 5, p. 373-384, 2006.

FELDENS, B.; DIAS, P. M. C.; SANTOS, W. M. S. E assim se fez o quantum. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, p. 1-11, 2010.

FERNANDES, A. D. A. *et al.* Measuring skin temperature before, during and after exercise: a comparison of thermocouples and infrared thermography. **Physiological Measurement**, v. 35, n. 2, p. 189, 2014.

\_\_\_\_\_. *et al.* Regional Skin Temperature Response to Moderate Aerobic Exercise Measured by Infrared Thermography. **Asian Journal of Sports Medicine**, v. 7, n. 1, p. e29243, v2017.

\_\_\_\_\_. MARINS, J. C. B. Teste de força de preensão manual: análise metodológica e dados normativos em atletas. **Fisioterapia em Movimento**, v. 24, p. 567-578, 2011.

\_\_\_\_\_. *et al.* Effect of a professional soccer match in skin temperature of the lower limbs: a case study. **J Exerc Rehabil**, v. 13, n. 3, p. 330-334, 6 2017.

FERNANDES, T. L.; PEDRINELLI, A.; HERNANDEZ, A. J. Lesão muscular: fisiopatologia, diagnóstico, tratamento e apresentação clínica. **Revista Brasileira de Ortopedia**, v. 46, p. 247-255, 2011.

FERNÁNDEZ-CUEVAS, I. *et al.* Infrared Thermography for the Detection of Injury in Sports Medicine. In: PRIEGO QUESADA, J. I. (Ed.). **Application of Infrared Thermography in Sports Science**. Cham: Springer International Publishing, 2017a. p. 81-109,

\_\_\_\_\_. *et al.* Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review. **Infrared Physics & Technology**, v. 71, p. 28-55, 2015.

\_\_\_\_\_. *et al.* Validity, Reliability, and Reproducibility of Skin Temperature in Healthy Subjects Using Infrared Thermography. In: HUMBERT, P.; FANIAN, F., *et al* (Ed.). **Agache's Measuring the Skin: Non-invasive Investigations, Physiology, Normal Constants**. Cham: Springer International Publishing, p.1311-1318, 2017b.

FLOURIS, A. D.; WEBB, P.; KENNY, G. P. Noninvasive assessment of muscle temperature during rest, exercise, and postexercise recovery in different environments. **Journal of Applied Physiology**, v. 118, n. 10, p. 1310-1320, 2015.

FORMENTI, D. *et al.* Skin temperature evaluation by infrared thermography: Comparison of two image analysis methods during the nonsteady state induced by physical exercise. **Infrared Physics & Technology**, v. 81, p. 32-40, 2017.

GAGNON, D.; KENNY, G. P. Does sex have an independent effect on thermoeffector responses during exercise in the heat? **The Journal of Physiology**, v. 590, n. 23, p. 5963-5973, 2012.

GARAGIOLA, U.; GIANI, E. Use of Telethermography in the Management of Sports Injuries. **Sports Medicine**, v. 10, n. 4, p. 267-272, 1990.

GEORGE, J. *et al.* Validation of a non-contact technique for local skin temperature measurements. **Skin Research and Technology**, v. 14, n. 4, p. 381-384, 2008.

GIANI, E. *et al.* Telethermographic evaluation of NSAIDs in the treatment of sport injuries. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 21, n. 1, p. 1-6, 1989.

GLEESON, M. Immune function in sport and exercise. **J Appl Physiol (1985)**, v. 103, n. 2, p. 693-9, 2007.

GÓMEZ-CARMONA, P. M. *et al.* La termografía como medio de prevención, seguimiento y recuperación de lesiones en futbolistas. **abfutbol**, v. 36, p. 35-41, 2008.

GOODMAN, P. H. *et al.* Stress Fracture Diagnosis by Computer-Assisted Thermography. **The Physician and Sportsmedicine**, v. 13, n. 4, p. 114-132, 1985.

GUERRA, I. *et al.* The Influence of Fluid Ingestion on Performance of Soccer Players During a Match. **Journal of Sports Science & Medicine**, v. 3, n. 4, p. 198-202, 2004.

GUTTRIDGE, D. C. *et al.* NF- $\kappa$ B Controls Cell Growth and Differentiation through Transcriptional Regulation of Cyclin D1. **Molecular and Cellular Biology**, v. 19, n. 8, p. 5785-5799, 1999.

HAYASHI, S. *et al.* Sequence of IGF-I, IGF-II, and HGF expression in regenerating skeletal muscle. **Histochemistry and Cell Biology**, v. 122, n. 5, p. 427-434, 2004.

HERSCHEL, W. Experiments on the Refrangibility of the Invisible Rays of the Sun. By William Herschel, LL. D. F. R. S. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 90, p. 284-292, 1800.

HILDEBRANDT, C.; RASCHNER, C.; AMMER, K. An Overview of Recent Application of Medical Infrared Thermography in Sports Medicine in Austria. **Sensors (Basel, Switzerland)**, v. 10, n. 5, p. 4700-4715, 2010.

HO, C. S. K. *et al.* Surgical and physical stress increases circulating blood dendritic cell counts independently of monocyte counts. **Blood**, v. 98, n. 1, p. 140-145, 2001.

ITALIANI, P.; BORASCHI, D. From Monocytes to M1/M2 Macrophages: Phenotypical vs. Functional Differentiation. **Frontiers in Immunology**, v. 5, p. 514, 2014.

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.

JÄRVINEN, T. A. H. *et al.* Muscle Injuries: Biology and Treatment. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 33, n. 5, p. 745-764, 2005.

JIANG, L. J. *et al.* A perspective on medical infrared imaging. **Journal of Medical Engineering & Technology**, v. 29, n. 6, p. 257-267, 2005.

JOHNSON, J. M. Exercise in a hot environment: the skin circulation. **Scand J Med Sci Sports**, v. 20 Suppl 3, p. 29-39, 2010.

\_\_\_\_\_. KELLOGG, D. L., JR. Thermoregulatory and thermal control in the human cutaneous circulation. **Front Biosci (Schol Ed)**, v. 2, p. 825-53, 2010.

JOYCE, D. *et al.* NF $\kappa$ B and cell-cycle regulation: the cyclin connection. **Cytokine and Growth Factor Reviews**, v. 12, n. 1, p. 73-90, 2001.

KENNY, G. P.; JOURNEAY, W. S. Human thermoregulation: separating thermal and nonthermal effects on heat loss. **Front Biosci (Landmark Ed)**, v. 15, p. 259-90, 2010.

\_\_\_\_\_. *et al.* Muscle temperature transients before, during, and after exercise measured using an intramuscular multisensor probe. **Journal of Applied Physiology**, v. 94, n. 6, p. 2350-2357, 2003.

KEYL, W.; LENHART, P. [Thermography in sport injuries and lesions of the locomotor system due to sport]. **Fortschritte der Medizin**, v. 93, n. 3, p. 124-126, 1975.

KOLLIAS, H. D.; MCDERMOTT, J. C. Transforming growth factor- $\beta$  and myostatin signaling in skeletal muscle. **Journal of Applied Physiology**, v. 104, n. 3, p. 579-587, 2008.

KRUSTRUP, P. *et al.* The Yo-Yo Intermittent Recovery Test: Physiological Response, Reliability, and Validity. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 35, n. 4, p. 697-705, 2003.

LAHIRI, B. B. *et al.* Medical applications of infrared thermography: A review. **Infrared Physics & Technology**, v. 55, n. 4, p. 221-235, 2012.

LAZARIM, F. L. *et al.* The upper values of plasma creatine kinase of professional soccer players during the Brazilian National Championship. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 12, n. 1, p. 85-90, 2016.

LOELL, I.; LUNDBERG, I. E. Can muscle regeneration fail in chronic inflammation: a weakness in inflammatory myopathies? **Journal of Internal Medicine**, v. 269, n. 3, p. 243-257, 2011.

\_\_\_\_\_. *et al.* Effects of different half-time strategies on second half soccer-specific speed, power and dynamic strength. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 23, n. 1, p. 105-113, 2013.

\_\_\_\_\_. *et al.* Soccer half-time strategy influences thermoregulation and endurance performance. **J Sports Med Phys Fitness**, v. 47, n. 3, p. 263-9, 2007.

LUDWIG, N. *et al.* Skin temperature evaluation by infrared thermography: Comparison of image analysis methods. **Infrared Physics & Technology**, v. 62, p. 1-6, 2014/01/01/ 2014.

MAIOR, A. S. *et al.* Profile of infrared thermography in elite soccer players. **Motriz: Revista de Educação Física**, v. 23, 2017.

MARFELL-JONES M. *et al.* **International standards for anthropometric assessment (ISAK)**. South Africa: Potchefstroom, 2006.

MARINS, *et al.* Thermal body patterns for healthy Brazilian adults (male and female). **Journal of Thermal Biology**, v. 42, p. 1-8, 2014a.

\_\_\_\_\_. *et al.* Thermographic profile of soccer players' lower limbs. **Revista Andaluza de Medicina del Deporte**, v. 7, n. 1, p. 1-6, 2014b.

\_\_\_\_\_. *et al.* Time required to stabilize thermographic images at rest. **Infrared Physics & Technology**, v. 65, p. 30-35, 2014c.

\_\_\_\_\_. *et al.* Applications of Infrared Thermography in Sports. A Review. **Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte** v. 15, n. 60, p. 805-824, 2015a.

\_\_\_\_\_. *et al.* Circadian and gender differences in skin temperature in militaries by thermography. **Infrared Physics & Technology**, v. 71, p. 322-328, 2015b.

\_\_\_\_\_. F. O.; GORDON, S. The M1 and M2 paradigm of macrophage activation: time for reassessment. **F1000Prime Reports**, v. 6, p. 13, 2014.

MESQUITA JÚNIOR, D. *et al.* Sistema imunitário - parte II: fundamentos da resposta imunológica mediada por linfócitos T e B. **Revista Brasileira de Reumatologia**, v. 50, p. 552-580, 2010.

MILIAS, G. A. *et al.* Effects of eccentric exercise-induced muscle injury on blood levels of platelet activating factor (PAF) and other inflammatory markers. **Eur J Appl Physiol**, v. 95, n. 5-6, p. 504-13, 2005.

MOHR, M. *et al.* Muscle damage, inflammatory, immune and performance responses to three football games in 1 week in competitive male players. **Eur J Appl Physiol**, v. 116, n. 1, p. 179-93, 2016.

\_\_\_\_\_. KRUSTRUP, P.; BANGSBO, J. Fatigue in soccer: a brief review. **J Sports Sci**, v. 23, n. 6, p. 593-9, 2005.

\_\_\_\_\_. *et al.* Muscle temperature and sprint performance during soccer matches – beneficial effect of re-warm-up at half-time. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 14, n. 3, p. 156-162, 2004.

\_\_\_\_\_. *et al.* Physiological Responses and Physical Performance during Football in the Heat. **PLoS ONE**, v. 7, n. 6, p. e39202, 2012.

MUKAKA, M. M. A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal: The Journal of Medical Association of Malawi**, Malawi, v. 24, n. 3, p. 69-71, 2012.

MURPHY, K.; TRAVERS, P.; WALPORT, M. **Imunobiologia de Janeway**. Porto Alegre: ArtMed, 2010.

NEVES, E. B. *et al.* Using skin temperature and muscle thickness to assess muscle response to strength training. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 21, p. 350-354, 2015.

NOVAK, M. L.; KOH, T. J. Phenotypic transitions of macrophages orchestrate tissue repair. **Am J Pathol**, v. 183, n. 5, p. 1352-63, 2013.

OZGUNEN, K. T. *et al.* Effect of hot environmental conditions on physical activity patterns and temperature response of football players. **Scand J Med Sci Sports**, v. 20 Suppl 3, p. 140-7, 2010.

PAULING, J. D. *et al.* Comparison of infrared thermography and laser speckle contrast imaging for the dynamic assessment of digital microvascular function. **Microvascular Research**, v. 83, n. 2, p. 162-167, 2012.

PAULSEN, G. *et al.* Leucocytes, cytokines and satellite cells: what role do they play in muscle damage and regeneration following eccentric exercise? **Exerc Immunol Rev**, v. 18, p. 42-97, 2012.

PEAKE, J.; NOSAKA, K.; SUZUKI, K. Characterization of inflammatory responses to eccentric exercise in humans. **Exerc Immunol Rev**, v. 11, p. 64-85, 2005.

\_\_\_\_\_. SUZUKI, K. Neutrophil activation, antioxidant supplements and exercise-induced oxidative stress. **Exerc Immunol Rev**, v. 10, p. 129-41, 2004.

\_\_\_\_\_. Exercise-induced alterations in neutrophil degranulation and respiratory burst activity: possible mechanisms of action. **Exerc Immunol Rev**, v. 8, p. 49-100, 2002.

PETRI, B.; PHILLIPSON, M.; KUBES, P. The physiology of leukocyte recruitment: an in vivo perspective. **J Immunol**, v. 180, n. 10, p. 6439-46, 2008.

POCHACZEVSKY, R. Thermography in posttraumatic pain. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 15, n. 3, p. 243-250, 1987.

PRIEGO QUESADA, J. I. *et al.* Introduction: Historical Perspective of Infrared Thermography and Its Application in Sport Science. In: PRIEGO QUESADA, J. I. (Ed.). **Application of Infrared Thermography in Sports Science**. Cham: Springer International Publishing, 2017.

PRIOR, B. M.; YANG, H. T.; TERJUNG, R. L. What makes vessels grow with exercise training? **Journal of Applied Physiology**, v. 97, n. 3, p. 1119-1128, 2004.

PUNCHARD, N.; WHELAN, C.; ADCOCK, I. The Journal of Inflammation. **Journal of Inflammation**, v. 1, n. 1, p. 1, 2004.

RANTANEN, J. *et al.* Satellite cell proliferation and the expression of myogenin and desmin in regenerating skeletal muscle: evidence for two different populations of satellite cells. **Lab Invest**, v. 72, n. 3, p. 341-7, 1995.

RICH, P. B. *et al.* Infrared thermography: a rapid, portable, and accurate technique to detect experimental pneumothorax<sup>1</sup> 1Funded, in part, by a grant from Infrared Imaging for Medicine, DOD Dual Use Application Program, DAAB07-98-3-D262. **Journal of Surgical Research**, v. 120, n. 2, p. 163-170, 2004.

RING, E. F. The historical development of thermometry and thermal imaging in medicine. **J Med Eng Technol**, v. 30, n. 4, p. 192-8, 2006.

\_\_\_\_\_. Progress in the measurement of human body temperature. **Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE**, v. 17, n. 4, p. 19-24, 1998.

\_\_\_\_\_. The historical development of temperature measurement in medicine. **Infrared Physics & Technology**, v. 49, n. 3, p. 297-301, 2007.

SELFE, J. *et al.* An Accurate and Reliable Method of Thermal Data Analysis in Thermal Imaging of the Anterior Knee for Use in Cryotherapy Research. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 87, n. 12, p. 1630-1635, 2006.

SHERMAN, R. A.; WOERMAN, A. L.; KARSTETTER, K. W. Comparative effectiveness of videothermography, contact thermography, and infrared beam thermography for scanning relative skin temperature. **Journal of rehabilitation research and development**, v. 33, n. 4, p. 377-386, 1996.

SHIBASAKI, M.; WILSON, T. E.; CRANDALL, C. G. Neural control and mechanisms of eccrine sweating during heat stress and exercise. **J Appl Physiol**, v. 100, n. 5, p. 1692-701, 2006.

SHIREMAN, P. K. *et al.* MCP-1 deficiency causes altered inflammation with impaired skeletal muscle regeneration. **J Leukoc Biol**, v. 81, n. 3, p. 775-85, 2007.

SILLERO-QUINTANA, M. *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.

\_\_\_\_\_. *et al.* Application of thermography as injury prevention method in sports. In: THERMOLOGICAL SYMPOSIUM OF THE AUSTRIAN SOCIETY OF THERMOLOGY QUANTITATIVE THERMAL IMAGING IN MEDICINE, 24, 2011, Vienna. **Anais...** Vienna, 2011. p. 120-126.

SILVA, F. O. C. D.; MACEDO, D. V. Exercício físico, processo inflamatório e adaptação: uma visão geral. **Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano**, v. 13, p. 320-328, 2011.

SIVANANDAM, S. *et al.* Medical thermography: a diagnostic approach for type 2 diabetes based on non-contact infrared thermal imaging. **Endocrine**, v. 42, n. 2, p. 343-351, 2012.

SMITH, C. *et al.* The inflammatory response to skeletal muscle injury: illuminating complexities. **Sports Med**, v. 38, n. 11, p. 947-69, 2008.

SNIJDERS, T. *et al.* Satellite cells in human skeletal muscle plasticity. **Frontiers in Physiology**, v. 6, p. 283, 2015.

SPALDING, S. J. *et al.* Three-dimensional and thermal surface imaging produces reliable measures of joint shape and temperature: a potential tool for quantifying arthritis. **Arthritis Research & Therapy**, v. 10, n. 1, p. R10, 2008.

STROPPIA, G. M. *et al.* Análise da temperatura da pele em joelhos de jogadoras de futebol profissional. **Revista Brasileira de Futebol**, v. 8, p. 36-42, 2017.

TEIXEIRA, C. F. P. *et al.* Neutrophils do not contribute to local tissue damage, but play a key role in skeletal muscle regeneration, in mice injected with Bothrops asper snake venom. **Muscle & Nerve**, v. 28, n. 4, p. 449-459, 2003.

TEN BROEK, R. W.; GREFFE, S.; VON DEN HOFF, J. W. Regulatory factors and cell populations involved in skeletal muscle regeneration. **Journal of Cellular Physiology**, v. 224, n. 1, p. 7-16, 2010.

TIDBALL, J. G. Inflammatory processes in muscle injury and repair. **Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol**, v. 288, n. 2, p. R345-53, 2005.

\_\_\_\_\_.; RINALDI, C. Chapter 63 - Immunological Responses to Muscle Injury. In: OLSON, J. A. H. N. (Ed.). **Muscle**. Boston/Waltham: Academic Press, 2012. p. 899-909.

\_\_\_\_\_.; WEHLING-HENRICKS, M. Macrophages promote muscle membrane repair and muscle fibre growth and regeneration during modified muscle loading in mice in vivo. **J Physiol**, v. 578, n. Pt 1, p. 327-36, 2007.

TURNER, N. J.; BADYLAK, S. F. Regeneration of skeletal muscle. **Cell and Tissue Research**, v. 347, n. 3, p. 759-774, 2011.

VILLALTA, S. A. *et al.* Shifts in macrophage phenotypes and macrophage competition for arginine metabolism affect the severity of muscle pathology in muscular dystrophy. **Hum Mol Genet**, v. 18, n. 3, p. 482-96, 2009.

WALSH, N. P. *et al.* Position statement. Part one: Immune function and exercise. **Exerc Immunol Rev**, v. 17, p. 6-63, 2011.

WEBER, F. S. *et al.* Avaliação isocinética da fadiga em jogadores de futebol profissional. **Revista Brasileira de Ciências do Esporte**, v. 34, p. 775-788, 2012.

WENDT, D.; VAN LOON, L. J.; LICHTENBELT, W. D. Thermoregulation during exercise in the heat: strategies for maintaining health and performance. **Sports Med**, v. 37, n. 8, p. 669-82, 2007.

WIEDOW, O.; MEYER-HOFFERT, U. Neutrophil serine proteases: potential key regulators of cell signalling during inflammation. **J Intern Med**, v. 257, n. 4, p. 319-28, 2005.

ZHANG, C. The role of inflammatory cytokines in endothelial dysfunction. **Basic Res Cardiol**, v. 103, n. 5, p. 398-406, 2008.



# ANEXO I

UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
MINAS GERAIS



## PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** Cinética da temperatura da pele na recuperação pós-exercício em atletas de futebol: a comparação de métodos

**Pesquisador:** Emerson Silami Garcia

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 50708915.6.0000.5149

**Instituição Proponente:** Escola de Educação Física da Universidade Federal de Minas Gerais

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 1.366.976

Investigador	Projeto_Pesquisa_Alex_de_Andrade_Fermandes_MODIFICADO.docx	29/11/2015 09:55:52	Emerson Silami Garcia	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_MODIFICADO.docx	29/11/2015 09:53:20	Emerson Silami Garcia	Aceito
Outros	Parecer_Consubstanciamento1.pdf	30/10/2015 08:49:08	Emerson Silami Garcia	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_Rosto1.pdf	30/10/2015 08:45:37	Emerson Silami Garcia	Aceito
Orçamento	ESTIMATIVA_DE_DESPESAS.docx	18/10/2015 09:42:12	Emerson Silami Garcia	Aceito

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

BELO HORIZONTE, 14 de Dezembro de 2015

Assinado por:  
Telma Campos Medeiros Lorentz  
(Coordenador)

## ANEXO II

## Original Article

JER

<https://doi.org/10.12965/jer.1734934.467>

Journal of Exercise Rehabilitation 2017;13(3):330-334

## Effect of a professional soccer match in skin temperature of the lower limbs: a case study

Alex de Andrade Fernandes<sup>1,\*</sup>, Eduardo Mendonça Pimenta<sup>2</sup>, Danilo Gomes Moreira<sup>1</sup>, Manuel Sillero-Quintana<sup>3</sup>, João Carlos Bouzas Marins<sup>4</sup>, Rodrigo Figueiredo Morandi<sup>2</sup>, Tane Kanope<sup>5</sup>, Emerson Silami Garcia<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Federal Institute for Education, Science and Technology of Minas Gerais, Campus Ipatinga and Governador Valadares, Governador Valadares, Brazil

<sup>2</sup>Department of Physical Education, Physiotherapy, and Occupational Therapy School, Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil

<sup>3</sup>Faculty of Physical Activity and Sport Sciences, Technical University of Madrid, Madrid, Spain

<sup>4</sup>Department of Physical Education, Human Performance Laboratory, Federal University of Viçosa, Viçosa, Brazil

<sup>5</sup>Medical and Physiology Department, Cruzeiro Esporte Clube, Belo Horizonte, Brazil

<sup>6</sup>Department of Physical Education, Federal University of Maranhão, Maranhão, Brazil

The purpose of this study is to analyze the relationship between lower limbs skin temperature (Tsk) recorded by infrared thermography and creatine kinase (CK) response following an official soccer game. A professional soccer player, from the first division Brazilian League, defender, 27 years and 183 cm of height was analyzed. Measures of Tsk with a thermal camera and blood CK concentrations were obtained 24 hr before (24H-PRE), 24 (24H-POST) and 48 hr (48H-POST) after an official match. The results showed that CK values were 193 U/L 24 hr before, rising to 1,083 U/L 24 hr after the game and 414 U/L 48 hr after the game. Anterior thigh Tsk was 31.5°C, 33.8°C, and 31.8°C in the moments 24H-PRE, 24H-POST, and 48H-POST, respectively. Similarly, anterior leg presented temperature of 31.2°C, 33.3°C, and 31.5°C at the same moments. Qualita-

tive analysis of the thermograms showed that whole lower limbs are much warmer 24 hr after the match and certain areas as the right anterior thigh, the left anterior leg, both anterior ankles, and both posterior thighs have not fully recovered their initial Tsk 48 hr after the match. The results of this study indicate that participation in a professional soccer match can lead to significant increases in Tsk values measured by IRT 24 hr after the match. Considering this variable as an indicator of muscular damage, it could help in the process of training control, being part of an injury prevention program in professional soccer clubs.

**Keywords:** Infrared thermography, Skin temperature, Injury prevention, Soccer

### INTRODUCTION

Participation in a soccer match results in a large number of microinjuries originated by the eccentric mechanical actions, generating muscle fibers ruptures, cell membrane damage, and sarcomeric degeneration (Hyldahl and Hubal, 2014; Kanda et al., 2013). Following this process, an acute local inflammatory response is triggered involving the release of different cytokines, migration of neutrophils to the trauma areas, and then releasing certain agents into the damaged fibers to attract macrophages that ingest and digest the dead tissue (Mohr et al., 2016; Walsh et al., 2011).

Increases in local tissue vascular activity following these inflam-

matory processes have been reported (Paulsen et al., 2012). In fact, some signs are produced by the body in this acute inflammatory response such as: heat, redness, pain, and these are generally noted after soccer matches (Paulsen et al., 2012; Young et al., 2012). Moreover, due to the greater vascular activity and the heat increase generated by the exercised muscles, it has been suggested that skin temperature (Tsk) recorded by infrared thermography (IRT) on the exercised body regions could be a good indicator of muscle stress (Hildebrandt et al., 2010). Thus, considering that the development of injury prevention program in professional soccer players requires reliable and fast information to address the level muscle damage and its location, we analyzed the relationship be-

\*Corresponding author: Alex de Andrade Fernandes

<http://orcid.org/0000-0001-7087-8263>

Federal Institute for Education, Sciences and Technology of Minas Gerais, Av. João Valentim Pascoal, s/n - Centro - Ipatinga - Minas Gerais, Brazil

Tel & Fax: +55-31-3899-2076, E-mail: alex.andrade@ifmg.edu.br

Received: February 25, 2017 / Accepted: June 5, 2017

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## ANEXO III

Sport Sci Health  
DOI 10.1007/s11332-017-0394-1



ORIGINAL ARTICLE

## Skin temperature changes of under-20 soccer players after two consecutive matches

Alex de Andrade Fernandes<sup>1,4</sup> · Eduardo Mendonça Pimenta<sup>2</sup> · Danilo Gomes Moreira<sup>1</sup> · Mannel Sillero-Quintana<sup>3</sup> · João Carlos Bouzas Marins<sup>4</sup> · Rodrigo Figueiredo Morandi<sup>2</sup> · Tane Kanope<sup>5</sup> · Emerson Silami Garcia<sup>6</sup>

Received: 13 July 2017 / Accepted: 22 August 2017  
© Springer-Verlag Italia S.r.l. 2017

### Abstract

**Purpose** To examine whether two consecutive soccer matches would affect skin temperature ( $t_{sk}$ ) measured via infrared thermography (IRT) in under-20 (U-20) soccer athletes, as well as verify whether the  $t_{sk}$  changes would be different between regions of interest.

**Methods** A cross sectional study. Ten under-20 soccer athletes [age  $19.0 \pm 1.0$  years; height  $181.3 \pm 6.6$  cm; body fat percentage (BF%)  $9.0 \pm 1.8\%$ , body surface area  $1.9 \text{ m}^2$  and  $\dot{V}O_{2\text{max}}$   $56.4 \pm 3.2 \text{ ml min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ ]. Skin thermal responses obtained by IRT and creatine kinase concentration (CK) were evaluated in response to two soccer matches with 3 days of recovery between each match.

**Results** The  $t_{sk}$  increased ( $\cong 1.0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) 24 h after the first match in all studied regions of interest (ROIs), returning to near pre-match values 48 h after the first match. However,

after playing the second match, the  $t_{sk}$  increased even more ( $\cong 1.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) 24 h after in all the considered ROIs, not returning to pre-match values 48 h after. Regarding CK analysis, its course during the experiment was similar to  $t_{sk}$ , with high values 24 h after (first match  $763.8 \pm 294.5 \text{ U/L}$ ; second match  $784.1 \pm 298.8 \text{ U/L}$ ) and recovering 48 h after (first match  $526.4 \pm 289.7 \text{ U/L}$ ; second match  $672.2 \pm 285.0 \text{ U/L}$ ) both matches. However, when the two matches are compared, CK showed a higher value 48 h after the second match in comparison to first match ( $P = 0.002$ ). The  $t_{sk}$  and CK were moderately correlated in all ROIs analyzed, with higher correlation in the anterior right leg ( $r = 0.425$ ) and anterior left leg ( $r = 0.428$ ).

**Conclusion** The  $t_{sk}$  of lower limbs as well as CK markedly change in response to two consecutive matches separated by an interval of 3 days. There is indication of the highest inflammatory response after the second match, which was preceded by just a 3-day recovery. In addition, a general increase was obtained in thighs and legs in anterior and posterior views.

✉ Alex de Andrade Fernandes  
alex.andrade@ifmg.edu.br

- <sup>1</sup> Federal Institute for Education, Science and Technology of Minas Gerais, Ipatinga and Governador Valadares, Minas Gerais, Brazil
- <sup>2</sup> Department of Physical Education, School of Physical Education, Physiotherapy, and Occupational Therapy, Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil
- <sup>3</sup> Faculty of Physical Activity and Sport Sciences, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Spain
- <sup>4</sup> Department of Physical Education, Human Performance Laboratory, Federal University of Viçosa, Viçosa, Brazil
- <sup>5</sup> Medical and Physiology Department, Cruzeiro Esporte Clube, Belo Horizonte, Brazil
- <sup>6</sup> UFMA/CAPES/FAPEMA, Federal University of Maranhão, Maranhão, Brazil

**Keywords** Infrared thermography · Thermal imaging · Muscle damage · Recovery · Creatine kinase

### Introduction

Elite soccer players are often required to play consecutive matches with intervals of 3 or 4 days. Those matches are usually associated with long trips, sudden changes in weather conditions, and alterations in their playing time and sleep, making it difficult to reach a complete recovery [1, 2]. Additionally, several studies have reported that more than 72 h of recovery are required for athletes to achieve similar physical performance values to those obtained

## ANEXO IV

## Application of Infrared Thermography in the Assessment of Muscle Damage in Elite Soccer Athletes

### Abstract

The participation in a soccer match may result in a large number of micro-injuries leading to a number of physiological responses which, in turn, increase skin temperature ( $T_{sk}$ ) of the lower limbs. The measurement of  $T_{sk}$  using infrared thermography (IRT) is being used as a tool to evaluate the internal load of the athlete in order to assist the management of training load and to help in the prevention of muscle injuries.

**Keywords:** Infrared thermography; Muscle damage; Skin temperature; Soccer athletes

**Abbreviations:**  $T_{sk}$ : Skin Temperature; IRT: Infrared Thermography

### Introduction

Participation in a soccer match results in a large number of micro-injuries originated by the eccentric mechanical actions, generating muscle fiber ruptures, cell membrane damage, and sarcomere degeneration [1]. Following this process, an acute local inflammatory response is triggered involving the release of different cytokines, migration of neutrophils to the trauma areas, and the release of certain agents into the damaged fibers to attract macrophages that ingest and digest the dead tissue, promoting temperature increase [2]. In this sense, studies have demonstrated a significant increase in  $t_{sk}$  assessed through IRT after physical effort, which could be an indicator of muscular wear, evidencing the athlete's physical exhaustion [2,3].

### Discussion

The acute inflammatory response presented after soccer matches results in the appearance of some cardinal signals produced by the organism such as: heat, redness, pain and swelling [4]. The redirection of arterial blood flow to the exercised muscle generates a higher muscle temperature and a greater local cutaneous vasodilation. This process is followed by a sensation of perceived heat, as well as the redness due to the greater number of erythrocytes that transited in the affected area [4]. In addition, during the inflammatory process, the blood flow velocity is reduced, which allows the interaction of circulating cells with endothelial cells expressing surface molecules capable of binding to leukocytes [5]. It is also important to note that during exercise and post-exercise there is a release of proinflammatory cytokines TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$  and IL-6 that can remain elevated for a period of 24-48 hours [6], and concomitantly act as endogenous pyrogens, thus contributing to the increase of the internal temperature [5].

Considering the factors that trigger the inflammatory process, which consequently alter the skin temperature, it has been proposed the assessment of skin temperature through IRT as an

### Mini Review

Volume 8 Issue 5 - 2017

**Alex de Andrade Fernandes<sup>1\*</sup>, Eduardo Mendonça Pimenta<sup>2</sup>, Danilo Gomes Moreira<sup>1</sup>, João Carlos Bouzas Marins<sup>3</sup>, Emerson Silami Garcia<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Department of Physical Education, Federal Institute for Education, Science and Technology of Minas Gerais, Brazil

<sup>2</sup>Department of Physical Education, Physiotherapy, and Occupational Therapy School, Federal University of Minas Gerais, Brazil

<sup>3</sup>Department of Physical Education, Federal University of Viçosa, Brazil

<sup>4</sup>Senior Visiting Researcher, Department of Physical Education, Federal University of Maranhao and CAPES/FAPEMA, Brazil

\*Corresponding author: Alex de Andrade Fernandes, Federal Institute for Education, Sciences and Technology of Minas Gerais, Av. João Valentim Pascoal, s/n - Centro - Ipatinga - Minas Gerais, Brazil, Tel: +55-31-3899-2076; Fax: +55-31-3899-2076; Email: alex.andrade@ifmg.edu.br; <http://orcid.org/0000-0001-7087-8263>

Received: July 15, 2017 | Published: August 08, 2017

indirect way of measuring muscle damage caused by different types of exercise, especially those with eccentric characteristics. Therefore, the use of IRT can be used as a noninvasive way of measuring body's responses (heat) to the inflammatory process, and can provide valuable information about how the external load was assimilated by the athlete. Therefore, it would be important to study the potential of this strategy for controlling the training load of high performance athletes [7].

It is important to emphasize that muscular and cutaneous vasodilation lead to increased blood flow in the exercised limb. However this is not the only reason for the increase in  $T_{sk}$ . In fact, the highest blood supply during exercise, with arterial blood at a higher temperature in muscle and skin, is the main factor that promotes the increase of  $T_{sk}$ . For example, in resting conditions, the expected blood temperature range is 36.8-37.9 °C [8] and consequently the displacement of this blood flow at a higher temperature in exercised subjects will result in a higher muscle and skin temperatures [9].

Fernandes et al. [2] studied the  $T_{sk}$  changes after a professional football match of the Brazilian championship of the First National Division. The  $T_{sk}$  24 hours after the game ranged from 2.0 °C to 2.5 °C higher in the posterior area of the thighs than before the game. However, no evidence of injury was identified by the medical staff. Therefore, the authors concluded that the increase of  $T_{sk}$  after the

## ANEXO V

### Artigo Original



#### Comportamento das temperaturas interna e muscular durante o jogo de futebol.

##### *Temperature transients of core and muscle during soccer game.*

Fernandes AA<sup>1</sup>; Pimenta EM<sup>2</sup>; da Silva CD<sup>3</sup>; Garcia ES<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Ipatinga, Brasil.

<sup>2</sup> Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Departamento de Educação Física, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.

<sup>3</sup> Departamento de Educação Física, Universidade Federal de Juiz de Fora, Governador Valadares, Brasil.

<sup>4</sup> Departamento de Educação Física, Universidade Federal do Maranhão, Maranhão, Brasil.

#### Resumo

**Objetivo:** O presente artigo apresenta uma revisão de literatura objetivando informações quantitativas sobre o comportamento da temperatura interna ( $T_i$ ), temperatura muscular ( $T_m$ ) durante o jogo de futebol.

**Métodos:** Realizou-se buscas em bancos de dados (MEDLINE/PubMed, e SciELO) utilizando os termos "soccer", "core temperature", "match play" e "muscle temperature".

**Resultados:** Foram identificados 69 registros e após triagem e elegibilidade, cinco estudos foram incluídos na síntese quantitativa. De forma geral, os estudos indicam que em média a  $T_i$  máxima obtida durante uma partida de futebol pode variar de 39,0-39,5 °C, o que pode representar aumentos de (~2 °C) em comparação com o repouso. Já para  $T_m$ , os resultados apontam que a participação em uma partida de futebol resulta em aumentos próximos a faixa de 39,0-40,0 °C, representando aumentos de (~4 °C) em comparação com o repouso.

**Conclusão:** A participação em uma partida de futebol provoca aumentos significativos nos valores da  $T_i$  e  $T_m$ , sendo que estes podem ser maiores quando a partida é disputada em condições climáticas de um ambiente quente e úmido. Tais aumentos, aliados a desidratação, podem resultar em perda de desempenho e até colapso devido à exaustão causada pelo calor.

**Palavras-chave:** Futebol, temperatura interna, temperatura muscular, termorregulação.

#### Endereço:

Alex de Andrade Fernandes  
 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais,  
 Departamento de Educação Física,  
 Av. João Valentim Pascoal, S/Nº, esquina com R. Mariana, Centro,  
 Ipatinga, Minas Gerais 35.160-002, Brasil  
 Tel.: +55 (31) 99734-7688  
 e-mail: [alex.andrade@ifmg.edu.br](mailto:alex.andrade@ifmg.edu.br)