

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

Thiago Vinícius de Almeida Santos

**CORRELAÇÃO ENTRE CARGA EXTERNA, CREATINA QUINASE E
TEMPERATURA DA PELE EM JOGADORES DE FUTEBOL**

Belo Horizonte
2024

Thiago Vinícius de Almeida Santos

**CORRELAÇÃO ENTRE CARGA EXTERNA, CREATINA QUINASE E TEMPERATURA DA PELE
EM JOGADORES DE FUTEBOL**

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

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Mendonça Pimenta.

Belo Horizonte
2024

S237c Santos, Thiago Vinícius de Almeida
2024 Correlação entre carga externa, creatina quinase e temperatura da pele em jogadores de futebol. [manuscrito] / Thiago Vinícius de Almeida Santos – 2024.
69 f.: il.

Orientador: Eduardo Mendonça Pimenta

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

Bibliografia: f. 58-64

1. Futebol – Teses. 2. Creatina-quinase – Teses. 3. Termografia – Teses. I. Pimenta, Eduardo Mendonça. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. III. Título.

CDU: 796.332.071

Ficha catalográfica elaborada pelo bibliotecário Antônio Afonso Pereira Júnior, CRB 6: n° 2637, da Biblioteca da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E TERAPIA OCUPACIONAL PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO ESPORTE

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO THIAGO VINICIUS DE ALMEIDA SANTOS

Às **15:00 horas** do dia **27 de junho de 2024**, a comissão examinadora, indicada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte, reuniu-se por videoconferência, para julgar, em exame final, a dissertação intitulada "**Correlação entre carga externa, creatina quinase e temperatura da pele em jogadores de futebol**". Abrindo a sessão, o presidente da comissão, Prof. Dr. Eduardo Mendonca Pimenta (EEFFTO/UFMG), orientador, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares de Defesa do Trabalho Final, passou a palavra para o candidato, que realizou a apresentação da sua dissertação. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do candidato. Logo após, a comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento e expedição do resultado.

Prof. Dr. Eduardo Mendonca Pimenta (UFMG - orientador) Prof. Dr. Christiano Eduardo Veneroso (UFMA)
Prof. Dr. Gustavo Henrique da Cunha Peixoto Cançado (UFMG) Após as indicações, o candidato foi considerado **APROVADO**.

Nada mais havendo a tratar, eu, Prof. Dr. Eduardo Mendonca Pimenta, presidente da comissão examinadora, dei por encerrada a reunião, da qual, para constar, lavrei a presente Ata, que, lida e aprovada, vai por todos assinada eletronicamente.

Belo Horizonte, 27 de junho de 2024

Assinatura dos membros da comissão examinadora:

 assinado eletronicamente por **Christiano Eduardo Veneroso, Usuário Externo**, em 27/06/2024, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

 assinado eletronicamente por **Gustavo Henrique da Cunha Peixoto Cancado, Professor do Superior**, em 28/06/2024, às 12:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

 assinado eletronicamente por **Eduardo Mendonca Pimenta, Professor(a)**, em 01/07/2024, às 15:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3297395** e o código CRC **83E60FFF**.

Referência: Processo nº 23072.204420/2024-09 SEI nº 3297395

“Dedico esta pesquisa aos meus pais, meus maiores e melhores orientadores na vida.”

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades;

Aos meus pais, Maria de Fátima Santos e Adevaldo Teixeira Santos, que diante de um período tão adverso e com tantas barreiras, acreditaram e me incentivaram a percorrer por mais esse caminho em minha jornada.

Ao Prof. Dr. Eduardo Pimenta pela oportunidade e apoio na elaboração deste trabalho.

Ao Morandi, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e orientações.

À Camila, pela amizade e por tanto me escutar e sempre ter palavras de apoio e conselhos.

Aos amigos do futebol, Tane, Saar e Guilherme por todo o aprendizado e por sempre servirem de inspiração.

À Nayara, por todo o carinho e ter deixado a vida mais leve e gostosa.

Ao meu filho, Theo, seu amor incondicional e alegria constante proporcionaram-me a motivação necessária para continuar, mesmo nos momentos mais desafiadores. As risadas e os momentos de descontração que compartilhamos foram um alívio indispensável, permitindo-me recarregar as energias e seguir em frente com renovado vigor. Papai te ama mais que o infinito x 1000!

“Daqui a 20 anos você estará mais decepcionado pelas coisas que você não fez, do que pelas que fez. Então, jogue fora suas amarras, navegue para longe do porto seguro, pegue os ventos em suas velas. Explore, sonhe, descubra”

Mark Twain

RESUMO

Devido à relação entre carga de treino, lesões e performance, o monitoramento das cargas de treino tornou-se imprescindível no futebol de alto rendimento. Embora a creatina-quinase (CK) e a termografia infravermelha (TIV) sejam eficazes para esse propósito, seu elevado custo pode ser uma limitação para alguns clubes. Em contrapartida, o *global positioning system* GPS apresenta-se como uma opção mais acessível. O objetivo do estudo foi analisar a correlação entre a carga externa medida por GPS, CK e entre GPS e temperatura da pele (Tp) dos membros inferiores de jogadores de futebol após partidas oficiais. Atletas da categoria Sub20 de um clube da primeira divisão do futebol brasileiro foram avaliados 24 e 48 horas após partidas oficiais, foram coletados dados de GPS, concentração sérica da CK e Tp dos membros inferiores. Não foram encontradas correlações significativas entre as variáveis de GPS (distância total em metros, distância em alta intensidade em metros ($>20\text{km/h}$), distância em sprint em metros ($>25\text{km/h}$), Ações de alta intensidade (a soma do número de acelerações de alta intensidade ($>2,8\text{m/s}^2$) e número de desacelerações em alta intensidade ($>2,8\text{m/s}^2$)) e os aumentos nos níveis de CK e Tp em nenhum dos momentos avaliados. Além disso, o estudo revelou que os níveis de creatina quinase (CK) e os valores de Tp aumentaram significativamente 24 e 48 horas após as partidas em comparação aos valores basais, com um pico em 24 horas ($p < 0,05$). Esses resultados sugerem que utilizar apenas a carga externa não possibilita uma estimativa indireta do dano muscular e da Tp nos jogadores 24 e 48 horas após as partidas. Desta maneira, conclui-se que a Tp 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 48h pós jogo, mas ainda não suficiente para retornar à condição basal.

Palavras-chave: Controle de Carga; Futebol; Creatina Quinase; Termografia Infravermelha; GPS.

ABSTRACT

Due to the relationship between training load, injuries, and performance, monitoring training loads has become essential in high-performance football. Although creatine kinase (CK) and infrared thermography (IRT) are effective for this purpose, their high cost can be a limitation for some clubs. Conversely, GPS presents a more accessible option. The aim of this study was to analyze the correlation between external load measured by GPS and creatine kinase (CK) and skin temperature of the lower limbs in football players after official matches. Sub-20 athletes from a first-division Brazilian football club were evaluated 24 and 48 hours after official matches. Data on GPS, serum CK concentration, and skin temperature of the lower limbs were collected. No significant correlations were found between GPS variables (total distance [DT], distance above 20 km/h [DAI], distance above 25 km/h [DAI2], high-intensity actions [AAI]) and increases in CK and IRT values at any of the evaluated time points. Furthermore, the study revealed that CK levels and IRT values increased significantly 24 and 48 hours after matches compared to baseline values, with a peak at 24 hours ($p < 0.05$). These results suggest that using only external load does not allow for an indirect estimation of muscle damage and physiological changes in players 24 and 48 hours after matches. Thus, it is concluded that the temperature profile (T_p) of the lower limbs exhibits a similar pattern to CK over time, with an increase 24 hours after matches and a tendency to decrease 48 hours post-match, but still not sufficient to return to baseline condition.

Keywords: Training Load; Football; Creatine Kinase; Infrared thermography; GPS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1. Ciclo de monitoramento do atleta..... | 21 |
| Figura 2. Primeiro termograma feito por John Herschel utilizando radiação solar em 1840. | 26 |
| Figura 3. Primeiro sensor eletrônico para a radiação infravermelha em 1959, Pyroscan. | 27 |
| Figura 4. Modelo esquemático que descreve as diferentes etapas envolvidas no processo de reparo tecidual. | 32 |
| Figura 5. Delineamento metodológico. | 38 |
| Figura 6. Correlação entre os valores de zona quente 24h após as partidas e a distância total percorrida em jogadores de futebol sub-20. | 42 |
| Figura 7. Correlação entre os valores de zona quente 48h após as partidas e a distância total percorrida em jogadores de futebol sub-20. | 42 |
| Figura 8. Correlação entre os valores de zona quente 24h após as partidas e a distância total percorrida acima de 20 km/h em jogadores de futebol sub-20. . | 43 |
| Figura 9. Correlação entre os valores de zona quente 48h após as partidas e a distância total percorrida acima de 20 km/h em jogadores de futebol sub-20. . | 43 |
| Figura 10. Correlação entre os valores de zona quente 24h após as partidas e a distância total percorrida acima de 25 km/h em jogadores de futebol sub-20. | 44 |
| Figura 11. Correlação entre os valores de zona quente 24h após as partidas e a distância total percorrida acima de 25 km/h em jogadores de futebol sub-20. | 44 |
| Figura 12. Correlação entre os valores de zona quente 24h após as partidas e ações de alta intensidade em jogadores de futebol sub-20. | 45 |
| Figura 13. Correlação entre os valores de zona quente 48h após as partidas e ações de alta intensidade em jogadores de futebol sub-20. | 45 |
| Figura 14. Correlação entre os níveis de CK 24h após as partidas e a distância total percorrida em jogadores de futebol sub-20. | 46 |
| Figura 15. Correlação entre os níveis de CK 48h após as partidas e a distância total percorrida em jogadores de futebol sub-20. | 46 |

| | |
|---|----|
| Figura 16. Correlação entre os níveis de CK 24h após as partidas e a distância total percorrida acima de 20 km/h em jogadores de futebol sub-20. | 47 |
| Figura 17. Correlação entre os níveis de CK 48h após as partidas e a distância total percorrida acima de 20 km/h em jogadores de futebol sub-20. | 47 |
| Figura 18. Correlação entre os níveis de CK 24h após as partidas e a distância total percorrida acima de 25 km/h em jogadores de futebol sub-20. | 48 |
| Figura 19. Correlação entre os níveis de CK 48h após as partidas e a distância total percorrida acima de 25 km/h em jogadores de futebol sub-20. | 48 |
| Figura 20. Correlação entre os níveis de CK 24h após as partidas e ações de alta intensidade em jogadores de futebol sub-20. | 49 |
| Figura 21. Correlação entre os níveis de CK 48h após as partidas e ações de alta intensidade em jogadores de futebol sub-20. | 49 |
| Figura 22. Níveis de CK em jogadores de futebol sub-20 nos momentos basal, 24 e 48 horas pós partidas. | 50 |
| Figura 23. Valores de Zona Quente em jogadores de futebol sub-20 nos momentos basal, 24 e 48 horas após uma partida. | 51 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Descrição da carga externa durante as partidas analisadas. | 41 |
| Tabela 2. Valores de CK e ZQ após as partidas analisadas. | 41 |

LISTA DE ABREVIATURAS

AAI – Ações de alta intensidade

ADP – Adenosina difosfato

ATP – Adenosina trifosfato

CK - Creatina quinase

DAI – Distância total percorrida acima de 20 km/h

DAI2 - Distância total percorrida acima de 25 km/h

DMIE - Dano muscular induzido pelo exercício

DMIT – Dor muscular de início tardio

DT - Distância Total

GPS - *Global Position System*

Km/h – Quilômetros por hora

LPS - *Local Position System*

TIV - Termografia Infravermelha

Tp - Temperatura da pele

ZQ - Zona Quente

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1. Objetivos..... | 18 |
| 1.2. Hipóteses..... | 18 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 19 |
| 2.1. Futebol..... | 19 |
| 2.2. Controle de carga de treino | 20 |
| 2.2.1. Carga Externa no Futebol | 21 |
| 2.2.2. Carga Interna no Futebol | 24 |
| 2.3. Termografia | 24 |
| 2.4. Dano Muscular e Reparo Tecidual | 30 |
| 2.5. Creatina Quinase..... | 33 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS | 36 |
| 3.1. Cuidados Éticos..... | 36 |
| 3.2. Participantes..... | 36 |
| 3.3. Delineamento Metodológico | 37 |
| 3.4. Caracterização da Amostra | 38 |
| 3.5. Avaliação da concentração sérica de CK | 38 |
| 3.6. Aquisição dos Termogramas | 39 |
| 3.7. Dados de GPS..... | 39 |
| 3.8. Análise Estatística | 40 |
| 4. RESULTADOS | 41 |
| 5. DISCUSSÃO | 52 |
| 6. CONCLUSÃO | 56 |
| REFERÊNCIAS | 56 |

1. INTRODUÇÃO

O futebol é caracterizado como uma atividade intermitente de longa duração, na qual se intercala períodos de alta intensidade, com recuperação de curta duração (STOLEN *ET AL.*, 2005; DALEN *ET AL.*, 2019). Os valores de frequência cardíaca podem variar entre 80 a 90% da frequência cardíaca máxima (FC_{máx}) do atleta. Durante uma partida os atletas percorrem cerca de 10 a 12 quilômetros (STOLEN *ET AL.*, 2005), sendo 10% em alta intensidade. Dentre as ações de alta intensidade estão os saltos, *sprints*, acelerações, desacelerações (STOLEN *ET AL.*, 2005) e mudanças de direção, que podem acontecer a cada 2-4 segundos em um total de 1200-1400 vezes por jogo (SPORIS *ET AL.*, 2010).

Devido à relação entre carga de treino, lesões e performance (GABBETT *ET AL.*, 2017), as comissões técnicas de clubes de futebol precisam de ferramentas para monitorar a carga de treino e avaliar a recuperação dos atletas de forma precisa e prática (HEIDARI *ET AL.*, 2019; KELLMANN *ET AL.*, 2018). A partir desse monitoramento, é possível quantificar a demanda que é exercida sobre os atletas (carga de treino externa) e como, do ponto de vista psicofisiológico, eles respondem a essa demanda (carga de treino interna) (HALSON, 2014; DREW; FINCHE, 2016; WEST *ET AL.*, 2021). A resposta do atleta a essa demanda pode ser positiva (aumento da capacidade física) ou negativa (lesão, doença e *overtraining*) (DREW; FINCHE, 2016). Treinadores e os departamentos de performance têm utilizado essas informações para planejar sessões de treino específicos para a demanda da modalidade, elaborar programas de prevenção de lesões e métodos para recuperação dos atletas (HALSON, 2014; GÓMEZ-CARMONA *ET AL.*, 2019).

Entre as ferramentas disponíveis para quantificar a carga externa durante treinos e jogos, podemos destacar a utilização de filmagens e captura de imagens e posterior tratamento em software, sistemas de posicionamento local (*Local Position System* - LPS) e sistemas de posicionamento global (*Global Position System* - GPS). Os GPS são os mais utilizados nos clubes pelo custo, velocidade e confiabilidade na aquisição e tratamento dos dados (BUCHHEIT *ET AL.*, 2014; AKENHEAD; NASSIS, 2016). O uso dessas tecnologias permitiu que estudos recentes identificassem um aumento nas ações de alta intensidade nos jogos da Premier League (BARNES *ET AL.*, 2014; BUSH *ET AL.*, 2015), Super Liga Chinesa (ZHOU; GÓMEZ; LORENZO,

2020) e La Liga (PONS *ET AL.*, 2021). Esses achados indicam uma evolução contínua da modalidade do ponto de vista físico.

As ações de alta intensidade possuem um caráter de contração excêntrica, este tipo de ação muscular implica uma alta magnitude de microtraumas musculares (KONRAD *et al.*, 2022), em especial, em atividades intermitentes como o futebol (THOMPSON *et al.*, 2001; OLIVIA-LOZANO *et al.*, 2020). Esses microtraumas são considerados como danos temporários e reparáveis, porque resultam em uma resposta inflamatória aguda, orquestrada, dentre outros, por neutrófilos e macrófagos, cuja função é a limpeza, reparo e desenvolvimento dos tecidos previamente danificados (SILVA e MACEDO, 2011). Na fase aguda, também temos uma elevação das concentrações de biomarcadores inflamatórios na corrente sanguínea (ISPIRLIDIS *et al.*, 2008).

Um dos biomarcadores mais utilizados para avaliação do dano muscular (ISPIRLIDIS *et al.*, 2008) e também como um fator de monitoramento da carga de treino (COELHO *et al.*, 2011; ALVES *et al.*, 2015) é a concentração sérica da creatina-quinase (CK). O objetivo do uso da CK para monitoramento da carga de treino é fornecer informações quanto o dano muscular desses atletas para que haja o ajuste adequado da carga de treinamento. Grande quantidade sérica da CK sugere a ocorrência de maiores danos musculares permitindo, de forma indiretamente, determinar a magnitude da exigência física imposta ao sistema músculo esquelético pelo exercício (ALVES *et al.*, 2015). Em relação a sua cinética, no estudo de Ispiridis *et al.*, 2008 envolvendo jogadores da primeira divisão da Grécia, o pico de CK ocorreu entre 24-48 horas após uma partida. Entretanto, esse pico ocorreu após 12-20 horas no estudo de Coelho *et al.*, 2011 envolvendo jogadores da primeira divisão do futebol brasileiro.

Sabendo que danos musculares desencadeiam processos inflamatórios (SAIDI *et al.*, 2021) e admitindo que a inflamação gera calor em decorrência do aumento do metabolismo local, então, o nível inflamatório pode ser avaliado por meio de gradientes de temperatura (FERNANDES *et al.*, 2017a). O surgimento de novas tecnologias aplicadas ao esporte pode propiciar um melhor entendimento das respostas fisiológicas do corpo humano, tanto nas sessões de treinamento quanto no momento competitivo (MOREIRA *et al.*, 2017).

A termografia infravermelha (TIV) é um método não invasivo, não-ionizante, inócuo e que mensura a temperatura da pele (T_p) em tempo real através de um termógrafo, que recebe e processa a irradiação infravermelha, gerando uma imagem térmica, denominado termograma (MOREIRA *et al.*, 2017), sendo utilizada para medir a radiação térmica (calor) emitida pelo corpo ou partes deste (FERNANDES *et al.*, 2017a; 2017b).

A utilização da TIV permite ao avaliador realizar uma análise qualitativa e quantitativa. Na análise qualitativa é possível identificar regiões de hipertermia/hipotermia, o que contribui para avaliação do estado físico do atleta. (GÓMEZ-CARMONA *et al.*, 2020; HILDEBRANDT *et al.*, 2010; BANDEIRA *et al.*, 2012; MARINS *et al.*, 2015). 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, sendo que cada um destes representa um valor de temperatura. Nesta análise, o avaliador pode selecionar as áreas de interesse, 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.*, 2014; MARINS *et al.*, 2015). Desta forma a TIV apresenta uma vantagem em relação aos biomarcadores de processo inflamatório, que verificam apenas a inflamação sistêmica (MARINS *et al.*, 2014; JAVIER *et al.*, 2014). Os valores de T_p apresentaram um padrão semelhante aos dados de CK, com um aumento significativo 24 horas após os jogos, seguido por uma redução 48 horas após os jogos, porém ainda elevados em relação a valores basais (FERNANDES *et al.*, 2017a, 2017b).

A utilização da CK e de TIV para controle de carga pode se tornar impraticável pelo elevado custo dos equipamentos e das coletas. Por outro lado, o GPS é um aparelho não invasivo e de menor custo. Poucos estudos associaram a demanda física de partidas com a CK (DE CARVALHO *ET AL.*, 2021; SCOTT *ET AL.*, 2016; RUSSEL *ET AL.*, 2016) e com a T_p (MAJANO *ET AL.* 2023). Entretanto, esse é o primeiro estudo a analisar a relação entre demanda física de partidas com a CK e com a T_p . Essas relações poderiam apresentar uma proposta de ferramenta indireta e de menor custo para o monitoramento da recuperação muscular dos

atletas após treinos e partidas.

1.1. Objetivos

Os objetivos deste estudo foram: (1) Verificar a correlação entre a carga externa obtida através de variáveis de GPS, CK e temperatura da pele dos membros inferiores de jogadores de futebol após partidas oficiais. (2) analisar a cinética da Tp de membros inferiores em atletas de futebol de elite após a participação em partidas oficiais, nos momentos baseline, 24 e 48h pós-jogo.

1.2. Hipóteses

H₀: Não existe correlação entre carga externa, CK e Tp e a CK e a Tp não apresentam alterações estatisticamente significativas após a participação em partidas oficiais nos momentos 24 e 48h pós-jogo.

H₀₁: Existe correlação entre carga externa, CK e Tp e a CK e a Tp apresentam alterações estatisticamente significativas após a participação em partidas oficiais nos momentos baseline, 24 e 48h pós-jogo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Futebol

O futebol é um dos esportes mais populares do mundo e atrai milhões de praticantes e expectadores de diversas faixas etárias. Por esse motivo, o futebol se tornou fonte de muitas pesquisas científicas. Ao longo das últimas décadas, pesquisadores têm investigado inúmeros aspectos do futebol, desde a estratégia de jogo até os fatores fisiológicos que influenciam o rendimento dos jogadores.

Do ponto de vista fisiológico, o futebol é caracterizado como um esporte intermitente de alta intensidade de alto componente excêntrico e grande número de ações musculares. (STOLEN *et al.*, 2005; DALEN *et al.*, 2016; RAMÍREZ-CAMPILLO *et al.*, 2016). Durante jogos oficiais, os valores de frequência cardíaca podem variar entre 80 a 98% da frequência cardíaca máxima (FC_{máx}) do atleta e eles percorrem cerca de 10 a 14 quilômetros (STOLEN *et al.*, 2005; DOLCI *et al.*, 2020). A distância percorrida pelos jogadores de linha é dividida em diferentes zonas de velocidade, incluindo corridas de alta intensidade, corridas de baixa intensidade, caminhadas e períodos de descanso. De acordo com DOLCI *et al.*, 2020, 22-24% desta distância é percorrida acima de 15 km/h, 8–10% acima de 20 km/h e 2–3% acima de 25km/h. A distância total percorrida durante jogos oficiais pode ser influenciada por vários fatores, incluindo a posição do jogador (BUSH *et al.*, 2015; DOLCI *et al.*, 2020), aspectos genéticos (PIMENTA *et al.*, 2013; COELHO *et al.*, 2018), a formação tática da equipe (AQUINO *et al.*, 2017) e o nível de jogo (DI SALVO *et al.*, 2013).

Além das corridas em alta intensidade, outras ações de alta intensidade como acelerações, frenagens, mudanças de direção, giros, saltos e chutes são repetidamente realizadas no futebol (STOLEN *et al.*, 2005; RAMÍREZ-CAMPILLO *et al.*, 2016). Durante uma partida, os jogadores podem percorrer 18% da distância total enquanto aceleram ou desaceleram a uma taxa maior que 1 m/s² e realizam mais de 700 mudanças de direções (BLOOMFIELD, *et al.*, 2007).

Recentemente, houve um aumento significativo nas ações de alta intensidade observadas nos jogos de ligas de futebol, como a *Premier League* (BARNES *et al.*, 2014; BUSH *et al.*, 2015), Super Liga Chinesa (ZHOU; GÓMEZ; LORENZO, 2020) e La Liga (PONS *et al.*, 2021). Isso mostra claramente que o futebol está se tornando mais exigente fisicamente e está em constante evolução (BUSH *et al.*, 2015). Diante desse cenário, a coleta e a análise de dados para fins de monitoramento da carga

têm se tornado uma prática comum para avaliar a fadiga e as adaptações subsequentes, examinar o desempenho e minimizar o risco de lesões (THORNTON *et al.*, 2019).

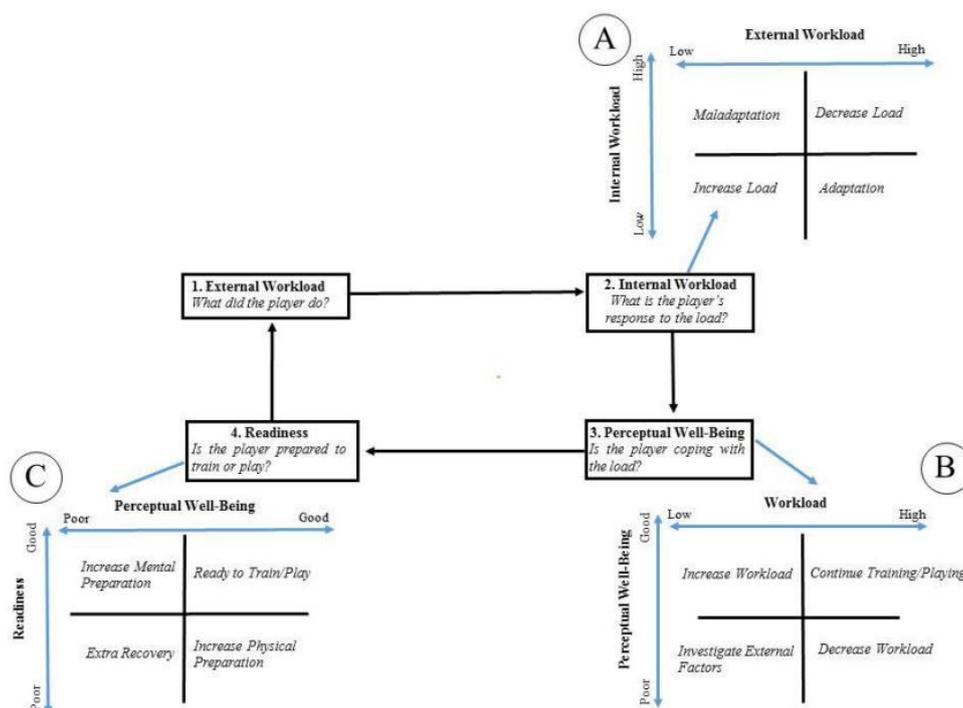
2.2. Controle de carga de treino

Devido à relação entre carga de treino, lesões e performance, o monitoramento das cargas de treino se tornou imprescindível no futebol de alto rendimento (GABBETT *et al.*, 2017) e o interesse nesse tópico cresceu exponencialmente na última década, muito pelo desejo de aumentar a performance dos atletas e diminuir a incidência de lesões (HALSON, 2014; WEST *et al.*, 2021). Através desse monitoramento é possível quantificar a demanda que é exercida sobre os atletas (carga de treino externa) e como, do ponto de vista psicofisiológico, eles respondem a essa demanda (carga de treino interna) (HALSON, 2014; DREW; FINCHE, 2016; WEST *et al.*, 2021).

Normalmente, em diversos clubes de futebol, os profissionais utilizam duas ou mais ferramentas para monitorar continuamente a carga de treino e jogos. Geralmente, empregam um instrumento para avaliar a carga interna e outro para a carga externa. O uso dessas ferramentas possibilita ao cientista do esporte, preparador físico ou treinador estabelecer uma relação entre a quantidade aplicada e a resposta obtida para cada um de seus atletas e, conseqüentemente, para sua equipe. (GABBETT *et al.*, 2017; LIMA-ALVES *et al.*, 2022; AMMANN *et al.*, 2023).

Neste contexto, podemos analisar o modelo proposto por Gabbett *et al.* (2017) (figura 1) para monitorar a carga de treino e jogo. Nesse modelo, é estabelecido um sistema no qual tanto a carga interna quanto a externa de treino, juntamente com as percepções de bem-estar e a prontidão dos atletas para os treinos e jogos, são registradas e formam a base para a análise de dados.

Figura 1. Ciclo de monitoramento do atleta



Fonte: Gabbett *et al.* (2017)

Para a construção destes sistemas de dados, é preciso que os treinadores e cientistas tenham em mente aquilo que pretendem monitorar e aquilo que esperam ter como resposta, assim como de que forma essa informação será utilizada. Ao contrário das interpretações baseadas em dados isolados, a análise conjunta das cargas externas e internas nos proporciona uma visão mais completa e precisa do dano muscular que é imposto aos atletas. Isso serve como base para o desenvolvimento de estratégias de treinamento individualizadas e mais eficazes (MIGUEL *et al.*, 2021).

2.2.1. Carga Externa no Futebol

Todo o cenário de caracterização e análise dos esforços realizados por jogadores durante as partidas foi possível pelo desenvolvimento de tecnologias que conseguiram mapear com mais precisão como os deslocamentos em quantidade e intensidade ocorriam (BUCHHEIT *et al.*, 2014). Entre essas tecnologias, podemos destacar a utilização de filmagens e captura de imagens e posterior tratamento em software, sistemas de posicionamento local (*Local Position System* - LPS) e

sistemas de posicionamento global (*Global Position System* - GPS). Os GPS são os mais utilizados nos clubes pelo custo, velocidade e confiabilidade na aquisição e tratamento dos dados (BUCHHEIT *et al.*, 2014; AKENHEAD; NASSIS, 2016).

O sistema de posicionamento global (GPS) é um sistema de navegação por satélite originalmente desenvolvido pelo Departamento de Defesa americano para uso militar, mas desde 2000 foi lançado ao público e comercializado. (SCOTT *et al.*, 2016; MALONE *et al.*, 2019). Consiste em 27 satélites equipados com relógios atômicos em órbita ao redor da Terra. Esses satélites enviam continuamente informações sobre a hora exata (na velocidade da luz) aos dispositivos GPS e, a partir desses sinais, os dispositivos calculam a distância até o satélite (LARSON, 2003). Isto é conseguido comparando a diferença de tempo entre o relógio atômico do satélite codificado no sinal e o relógio interno do dispositivo. Ao calcular a distância a pelo menos 4 satélites, podem ser geradas informações precisas sobre a latitude, longitude e altitude do dispositivo GPS (LARSON, 2003). Desde a criação do GPS, outros países construíram e lançaram sistemas de navegação por satélite, como Rússia (GLONASS), China (BeiDou) e a União Europeia (Sistema Galileo) (PARKER *et al.*, 2018).

Os dispositivos GPS são classificados pela taxa de amostragem por segundo. Inicialmente, os dispositivos comerciais tinham uma taxa de amostragem de 1 Hz (uma amostra por segundo). Houve um rápido avanço nas taxas de amostragem do GPS e agora existem unidades de 5, 10 e 15 Hz (CUMMINS *et al.*, 2013). Junto com o aumento na velocidade de amostragem, o avanço tecnológico do GPS também viu a integração de acelerômetros triaxiais nos dispositivos. Acelerômetros triaxiais usam a soma das acelerações em 3 planos (X, Y e Z) para produzir magnitude vetorial composta (expressa como força G) (CUMMINS *et al.*, 2013). Esses dispositivos possibilitam a quantificação do número total e da intensidade das colisões e contatos de um atleta durante uma partida por meio de medidas de impacto ou carga corporal. A carga corporal refere-se à soma de todas as forças, incluindo aceleração/desaceleração, mudanças de direção, contatos entre jogadores e contatos com o solo, que agem sobre um atleta durante a partida (CUMMINS *et al.*, 2013).

O dispositivo GPS no contexto do futebol, enquanto tecnologia aplicada,

tornou-se fundamental para a compreensão da carga externa dos jogadores durante treinos e partidas, com seu uso, é possível coletar e analisar dados como distância total percorrida, distância em diferentes zonas de velocidade, acelerações e desacelerações e sprints (SCOTT; SCOTT; KELLY, 2016; AKYILDIZ; YILDIZ; CLEMENTE, 2020). Segundo Scott *et al.* (2016), os dados fornecidos pelo GPS ajudam os treinadores a individualizar os programas de treinamento, minimizar o risco de lesões e maximizar a eficiência dos jogadores durante as partidas. Além disso, a tecnologia GPS tem sido empregada para analisar padrões táticos, permitindo ajustes estratégicos durante o jogo (LOW *et al.*, 2019; RICO-GONZÁLEZ *et al.*, 2023).

A precisão, validade e confiabilidade do GPS têm sido comumente investigadas em esportes coletivos (VARLEY; FAIRWEATHER; AUGHEY, 2012; SCOTT; SCOTT; KELLY, 2016; BEATO; DEVEREUX; STIFF, 2018; AKYILDIZ; YILDIZ; CLEMENTE, 2020; HUGGINS *et al.*, 2020). Diversas pesquisas enfatizam que uma taxa de amostragem mais elevada (10–15 Hz) oferece uma medição dos movimentos dos atletas mais válida e confiável quando comparada a dispositivos com uma menor taxa de amostragem (1–5 Hz) (VARLEY; FAIRWEATHER; AUGHEY, 2012; RAMPININI *et al.*, 2014; VICKERY *et al.*, 2014; BEATO; DEVEREUX; STIFF, 2018; HUGGINS *et al.*, 2020). Evidências anteriores também provaram que existe grande variabilidade na precisão de diferentes marcas de GPS (COUTTS; DUFFIELD, 2010; JOHNSTON *et al.*, 2014), bem como variabilidade observada entre unidades GPS do mesmo modelo (AKYILDIZ; YILDIZ; CLEMENTE, 2020). Portanto, é crucial que qualquer modelo de GPS seja validado de forma independente. Os resultados obtidos de uma marca específica não podem ser extrapolados para outras. Além disso, seria uma prática recomendável garantir que os atletas utilizem o mesmo dispositivo sempre que possível durante as sessões de treinos e jogos, promovendo assim a consistência e a confiabilidade dos dados coletados (SCOTT; SCOTT; KELLY, 2016). Essa prática diminuiria o erro ao comparar resultados entre sessões de um único dispositivo.

Contudo, mesmo com a proliferação do uso desses dispositivos, persiste uma confusão generalizada em relação às métricas mais apropriadas para utilização (MALONE *et al.*, 2019). De acordo com Impellizzeri; Marcora; Coutts, (2019), as

métricas de GPS mais apropriadas devem estar relacionadas aos estímulos dos treinamentos e as demandas da modalidade. Recentemente Akenhead; Nassis (2016) e Miguel *et al.*, (2021) identificaram as principais métricas baseadas em GPS que os profissionais utilizam atualmente no futebol, que incluem; distância total percorrida absoluta (em metros) e relativa (metros/minuto), distância percorrida em diferentes zonas de velocidade, número de acelerações e desacelerações, distância percorrida em acelerações e desacelerações; duração de treinos e jogos e player load.

2.2.2. Carga Interna no Futebol

A carga interna pode ser definida como uma resposta fisiológica esperada para uma determinada e planejada carga de treino externa oferecida ao atleta (IMPELLIZZERI; MARCORA; COUTTS, 2019). A resposta do atleta a essa demanda pode ser positiva (aumento da capacidade física) ou negativa (lesão, doença e *overtraining*) (DREW; FINCHE, 2016;). Os indicadores da carga interna de treino podem ser considerados como marcadores das respostas psicofisiológicas ao treinamento e ao jogo e são dependentes de: características individuais, características do treino, status psicológico, saúde, nutrição, ambiente e genética (IMPELLIZZERI; MARCORA; COUTTS, 2019).

Dentre os métodos utilizados para o monitoramento da carga interna no futebol, destacam-se a frequência cardíaca, Impulso de Treino (TRIMP), Percepção Subjetiva de Esforço (PSE) da sessão, concentração sérica da creatina quinase (MIGUEL *et al.*, 2021). Nos últimos anos, a termografia infravermelha (TIV), tem sido proposta como uma ferramenta a ser utilizada com aplicações interessantes tanto na medicina esportiva, fisioterapia como também no auxílio de determinação da carga de treinamento (MARINS *et al.*, 2015).

2.3. Termografia

As técnicas de medição de temperatura sem contato (remotas) não se baseiam na medição direta da temperatura. Em vez disso, elas quantificam o fluxo de energia emitido pelo objeto e calculam a temperatura a partir dessas medições, seguindo os princípios da radiometria (RAMIREZ-GARCIALUNA *et al.*, 2022). A

radiometria se fundamenta na observação de que todos os objetos com temperaturas acima do zero absoluto (-273°C) emitem radiação eletromagnética em uma variada gama de comprimentos de onda (RAMIREZ-GARCIALUNA *et al.*, 2022; LAHIRI *et al.*, 2012). Contudo, a maior parte da radiação proveniente dos objetos ao nosso redor ocorre em comprimentos de onda de 3 µm ou mais, conhecidos como infravermelho térmico ou IR. Objetos nesse intervalo de temperatura não emitem radiação visível, permanecendo na faixa do espectro do infravermelho (RAMIREZ-GARCIALUNA *et al.*, 2022).

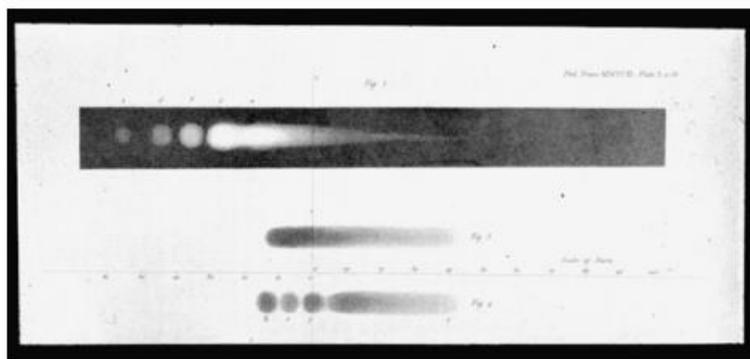
A termografia infravermelha (TIV) é um método não invasivo, não-ionizante, inócuo e que mensura a temperatura da pele (T_p) em tempo real através de um termógrafo, que recebe e processa a irradiação infravermelha, gerando uma imagem térmica, denominado termograma (RING, 2007; MOREIRA *et al.*, 2017), sendo utilizada para medir a radiação térmica (calor) emitida pelo corpo ou partes deste (FERNANDES *et al.*, 2017a; 2017b).

A temperatura corporal sempre foi compreendida como um indicador relevante para o estado de saúde do ser humano (RACINAIS; COCKING; PÉRIARD, 2017). Essa teoria, foi primeiramente documentada em 400 a.C. Nessa época, Hipócrates observou que existiam variações referente a temperatura em diferentes regiões do nosso corpo; *"Em qualquer parte do corpo, se houver excesso de calor ou de frio, então a doença está presente nesta parte"* (RING, 2007). Durante séculos, isto permaneceu uma técnica subjetiva, e o conceito de medição de temperatura não foi desenvolvido até o século XVI (RING, 2007). Carl Wunderlich fez um dos maiores progressos na medicina ao desenvolver o termômetro clínico e registrar sistematicamente a progressão da temperatura em um grande número de pacientes doentes em 1871 (WUNDERLICH, 1871). Ele estabeleceu que a faixa de temperatura entre 36,3 e 37,5 C pode ser considerado normal e temperatura além esta faixa deve ser considerada como uma indicação de possível doença.

A descoberta da radiação infravermelha por Sir William Herschel em 1800 foi rapidamente seguida pela gravação da primeira imagem térmica (Figura 2) por seu filho, John Herschel, que abriu novas dimensões no campo da medição de temperatura (RING, 2007). Essa imagem foi chamada de "termograma", um termo que ainda é usado para descrever uma imagem feita por radiação térmica. O

termograma de John Herschel foi feito focando a radiação solar com uma lente em uma suspensão de partículas de carbono em álcool. Esse método é conhecido como evaporografia (RING, 2007).

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

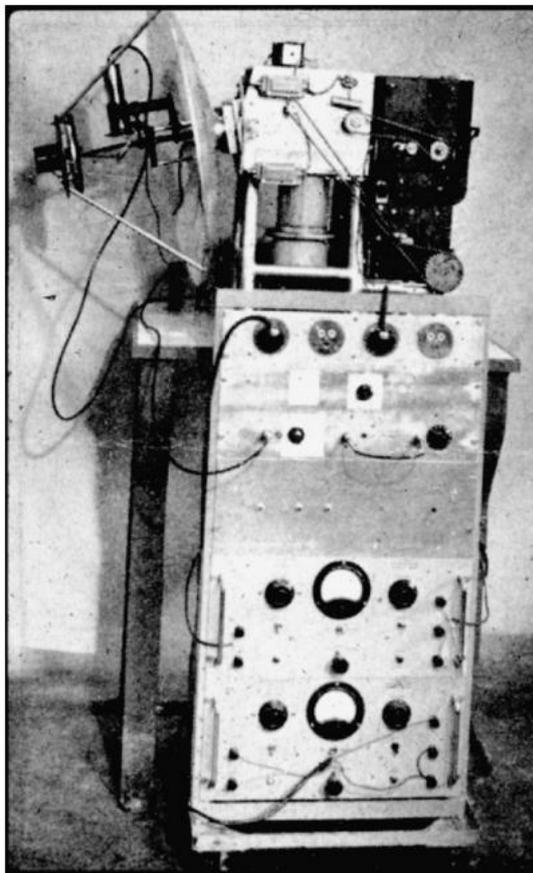


Fonte: RING, (2007).

Em 1934, James D. Hardy descreveu o papel fisiológico da emissão de radiação infravermelha do corpo humano e propôs que a pele humana pudesse ser considerada um corpo negro perfeito (HARDY; MUSCHENHEIM, 1934). Ele estabeleceu a importância da medição de temperatura da pele pela técnica infravermelha, o que abriu o caminho para o uso termografia infravermelha nas ciências médicas. Na Física, um corpo negro é um objeto hipotético que absorve toda a radiação eletromagnética que nele incide: nenhuma luz o atravessa e nem é refletida (HARDY; MUSCHENHEIM, 1934).

No início dos anos 1940, foi desenvolvido o primeiro sensor eletrônico para a radiação infravermelha, e as primeiras imagens médicas foram tiradas no Hospital Middlesex em Londres e no Royal Hospital Nacional para Doença Reumática, em Bath, com o sistema protótipo "Pyroscan" (Figura 3) entre os anos 1959-1961 (RING, 2007).

Figura 3. Primeiro sensor eletrônico para a radiação infravermelha em 1959, Pyroscan.



Fonte: Ring (2007).

Nas décadas de 1960 e 1970, uma nova geração de sensores eletrônicos para a radiação infravermelha surgiu na Europa, nos Estados Unidos e no Japão. Nesse período, foram introduzidos displays de osciloscópio e isotermas eletrônicas foram incorporadas às imagens termográficas. A técnica de fotografia colorida de exposição múltipla possibilitou a produção dos primeiros termogramas coloridos na década de 1960 (RING, 2004). Em 1963, Barnes evidenciou que os termogramas podem oferecer informações sobre anomalias físicas, tornando-se assim uma ferramenta útil para o diagnóstico de doenças físicas (BARNES, 1963).

Microcomputadores destinados ao processamento de imagens foram introduzidos na metade da década de 1970. Esses microcomputadores possibilitaram exibições coloridas, análise aprimorada de imagens, seleções de zonas de interesse e também desempenharam um papel crucial no armazenamento

eficiente de dados e imagens. Esse avanço significativo marcou o surgimento da termografia quantitativa, inaugurando uma nova fase na análise detalhada e precisa das imagens térmicas (RING, 2004; RING, 2007).

Em 1972, surgiu a *European Association of Thermology*, seguida pela realização da primeira conferência em Amsterdã, em 1974. Esse marco histórico impulsionou a criação de grupos de estudo dedicados à formulação de diretrizes para a aplicação das técnicas de coleta de imagens, consolidando assim a base teórica e prática para o desenvolvimento da termografia na época (RING, 2007). Em 1987, a Associação Americana de Medicina (American Medical Association) reconheceu a termografia infravermelha como um instrumento diagnóstico factível. Atualmente, os modernos sistemas de câmeras de alta velocidade e alta resolução alcançaram excelente nível de desempenho, podendo ser empregados na medicina para obtenção não invasiva de imagens. As aplicações em diversas áreas médicas destinam-se tanto para diagnóstico como para monitoramento de tratamentos (CAI *et al*, 2021).

O método de análise dos termogramas também merece atenção. Existem três métodos de análise validados pela literatura científica, sendo eles as análises: de pontos proximais, mediais e distais do membro analisado (BANDEIRA *et al.*, 2012); dos valores mínimo, máximo e da média desses valores pela delimitação de uma determinada região de interesse (ROI's) (MARINS *et al.*, 2014a; RODRIGUES JÚNIOR *et al.*, 2021); e, da frequência do número de pixels e seu percentual, em uma faixa de temperatura, também reconhecido por Termopixelgrafia (BARCELOS *et al.*, 2014, 2018).

Na área da Medicina do Esporte, a aplicação da TIV emerge como uma ferramenta fundamental para otimizar o desempenho dos atletas. Ela desempenha um papel crucial na identificação de riscos e na prevenção de lesões (GÓMEZ-CARMONA *et al.*, 2020), além de se revelar uma valiosa aliada no monitoramento do treinamento esportivo, permitindo a avaliação precisa da carga de treino e da recuperação dos atletas (FERNANDES *et al.*, 2017a; 2017b; SILVA; REIS; MARINS, 2022).

Como dito anteriormente, o futebol é caracterizado como um esporte de alta

demanda física e muscular e efeitos de fadiga residual como, por exemplo, redução de força e potência e aumento dos marcadores de dano muscular e inflamação podem ser observados até 72 horas após uma partida (SILVA *et al.*, 2017). Em casos de microlesões musculares, seguidas pela ativação do processo inflamatório, ocorre uma variação térmica na área afetada do tecido, evidenciada pelo aumento local da temperatura (SAIDI *et al.*, 2021). Essa variação térmica ocorre devido ao aumento do fluxo sanguíneo, que visa aumentar o fornecimento de substâncias para a área da microlesão, bem como o aumento da mobilização de subpopulações de células do sistema imunológico ativadas para facilitar o processo de cura e reparação tecidual (PAULSEN *et al.*, 2012). Nesse contexto, a TIV tem sido proposta como um método de avaliação indireta da resposta inflamatória resultante do dano muscular causado durante partidas de futebol (FERNANDES *et al.*, 2017a; 2017b).

Em um estudo de caso envolvendo um atleta de futebol de elite, observou-se que a temperatura da pele nos membros inferiores e a concentração sérica de creatina quinase apresentaram respostas semelhantes, aumentando significativamente 24 horas após uma partida e retornando aos valores basais após 48 horas (FERNANDES *et al.*, 2017b). Matta; Rhea, (2019) observaram um aumento na Tp 24 e 48 horas após um jogo oficial em 10 jogadores profissionais. Entretanto, essa resposta não foi associada aos valores de CK e à indicadores subjetivos de recuperação (MATA; RHEA, 2019).

Fernandes *et al.*, (2017a) conduziram um estudo monitorando a resposta térmica nos membros inferiores de 10 jovens jogadores (sub-20) usando a termografia. As medições foram realizadas 24 e 48 horas após duas partidas de futebol, com um intervalo de 3 dias entre elas. Os resultados revelaram aumentos significativos na temperatura da pele 24 horas após ambas as partidas, indicando um possível acúmulo de fadiga, especialmente após o segundo jogo, coincidindo com o aumento na concentração de CK, sugerindo dano muscular. Além disso, a temperatura da pele permaneceu elevada acima dos valores basais 48 horas após o segundo jogo (FERNANDES *et al.*, 2017b).

Rodrigues Júnior *et al.*, (2021), investigaram o nível de relação entre a assimetria esportiva no salto contramovimento (SCM) e a assimetria de Tp dos MMII de 10 atletas profissionais de futebol, antes e após um período competitivo. Após o

período competitivo, houve redução do desempenho no SCM e maior Tp, mesmo após 72 horas de inatividade (RODRIGUES JÚNIOR *et al.*, 2021).

No estudo conduzido por Duarte *et al.*, (2022), foram analisados os padrões de resposta da Proteína C-reativa (PCR) e da Tp nos membros inferiores de atletas profissionais de futebol durante três jogos consecutivos. As análises compararam os níveis pré-jogo dessas variáveis, além de avaliar suas respostas relativas 24, 48 e 72 horas após os jogos. Os resultados revelaram aumentos significativos tanto na PCR quanto na Tp dos membros inferiores 24 horas após todos os jogos, indicando o estresse fisiológico gerado pelas partidas. Notavelmente, após o terceiro jogo, esses aumentos significativos persistiram até as 48 horas, evidenciando a intensidade do impacto do jogo sobre as respostas fisiológicas dos atletas (DUARTE *et al.*, 2022).

Uma avaliação precisa das variações na resposta térmica do atleta requer a construção de seu perfil térmico. A individualização desse parâmetro possibilita a detecção de possíveis alterações ao longo da temporada. Em caso de variações, a atenção dedicada a esse atleta específico deve ser intensificada, demandando uma abordagem mais cuidadosa (AFONSO; DIAS; MARINS, 2023). Em suma, a integração da TIV em protocolos de monitoramento esportivo não apenas melhora a precisão das avaliações, mas também otimiza a tomada de decisões dos treinadores e profissionais de saúde, permitindo a implementação de intervenções preventivas mais eficazes.

2.4. Dano Muscular e Reparo Tecidual

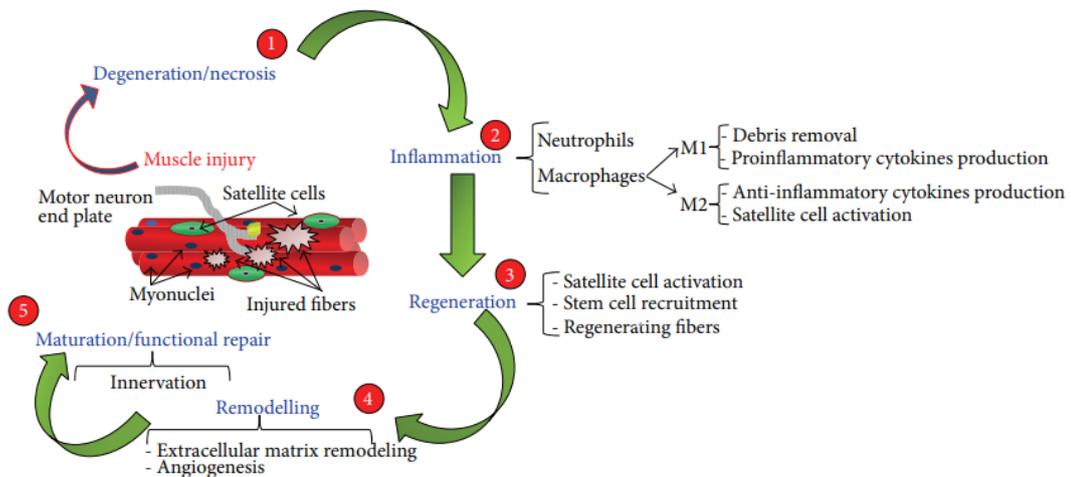
A sobrecarga mecânica exercida sobre o músculo esquelético durante o treinamento resulta em microlesões conhecidas como dano muscular induzido pelo exercício (DMIE), sendo mais comuns após atividades não usuais, intensas e com forte componente excêntrico (EBBELING; CLARKSON, 1989; PAULSEN *et al.*, 2012). O DMIE é caracterizado por uma série de sintomas e indicadores, conhecidos como marcadores de dano. Esses indicadores geralmente englobam dor muscular de início tardio (DMIT), aumento da tensão passiva, redução na amplitude de movimento, elevação dos níveis de proteínas circulantes como CK e mioglobina, além da diminuição na capacidade de geração de força muscular (PAULSEN *et al.*,

2012).

Essas microlesões são entendidas como lesões temporárias e passíveis de reparo, desencadeando uma resposta inflamatória aguda. Esta resposta é coordenada, em parte, por neutrófilos e macrófagos, que desempenham um papel crucial na limpeza, reparação e regeneração dos tecidos previamente lesionados (SCHOENFELD, 2012; MUSARÒ, 2014; FORCINA; COSENTINO; MUSARÒ, 2020).

De acordo com os estudos de Musarò, 2014 e Forcina; Cosentino; Musarò, 2020 o reparo tecidual pode ser dividido em cinco fases interligadas: degeneração-necrose, inflamação, regeneração, maturação/remodelação e recuperação funcional (Figura 4). Embora a velocidade e a extensão de cada fase possam variar entre diferentes organismos e depender das características e intensidade do dano, a dinâmica geral do processo de cicatrização muscular é semelhante em diversos mamíferos, como camundongos, ratos e seres humanos (MUSARÒ, 2014; FORCINA; COSENTINO; MUSARÒ, 2020).

Figura 4. Modelo esquemático que descreve as diferentes etapas envolvidas no processo de reparo tecidual.



A restauração muscular ocorre através de cinco etapas temporalmente interligadas (destacadas em azul). Inicialmente, a necrose das fibras musculares desencadeia uma resposta inflamatória transitória, essencial para a eliminação de resíduos celulares necróticos. Em seguida, surge uma fase regenerativa, caracterizada pela ativação de células-tronco, incluindo células satélites e outras não musculares, que substituem as miofibras lesionadas. A quarta etapa abrange a remodelação da matriz extracelular e a formação de novos vasos sanguíneos. A restauração completa do tecido muscular ocorre com a reinervação das fibras em regeneração.

Fonte: (Musarò, 2014).

A fase de degeneração é caracterizada pela necrose das fibras musculares, resultante do comprometimento severo de sua integridade. Isso envolve a alteração da permeabilidade da membrana plasmática, acompanhada pelo fluxo iônico descontrolado, disfunção organelar e perda da estrutura muscular adequada. Nessa fase, também ocorre a liberação de enzimas intracelulares, incluindo a creatina quinase (CK) (MUSARÒ, 2014; FORCINA; COSENTINO; MUSARÒ, 2020).

Na fase de inflamação, ocorre a infiltração de células do sistema imunológico na área da microlesão, acompanhada pela liberação de mediadores pró-inflamatórios. Neutrófilos e macrófagos se acumulam no local afetado, expressando moléculas pró-inflamatórias como interleucina (IL)-1 β e TNF α , e participam da fagocitose das fibras musculares danificadas. (MUSARÒ, 2014; FORCINA; COSENTINO; MUSARÒ, 2020). As duas fases iniciais do processo se destacam por um acentuado caráter catabólico, já que demandam a fagocitose e remoção das áreas afetadas do tecido lesionado.

A terceira fase, é caracterizada pela ativação das células satélites, que se

diferenciam em mioblastos e posteriormente se fundem para formar novas fibras musculares. Durante esta etapa, ocorre a liberação de diversos fatores de crescimento e citocinas, que não apenas auxiliam na atração de células do sistema imunológico, mas também estimulam a proliferação e diferenciação das células satélites (MUSARÒ, 2014; FORCINA; COSENTINO; MUSARÒ, 2020). A quarta fase, envolve o amadurecimento estrutural e funcional das novas fibras musculares. Nesse período, há a reconstrução completa da maquinaria muscular, incluindo a matriz extracelular, os vasos sanguíneos e a reinervação do tecido muscular (MUSARÒ, 2014; FORCINA; COSENTINO; MUSARÒ, 2020). Por fim, na quinta fase, concentra-se na restauração da função muscular, sendo essencial para essa etapa a integração adequada das novas fibras musculares no tecido muscular preexistente.

2.5. Creatina Quinase

Como descrito anteriormente, em diversos clubes de futebol, os profissionais utilizam sistemas de avaliação multiparâmetros e abordagens de big data monitorar continuamente a carga de treino e jogos. Nesse contexto, avaliações psicométricas e medições fisiológicas estão sendo amplamente empregados em abordagens que buscam uma compreensão abrangente do atleta, considerando aspectos relacionados à saúde, performance esportiva e recuperação muscular (BOURDON *et al.*, 2017).

Dentro dos parâmetros fisiológicos, os biomarcadores têm despertado considerável interesse, uma vez que podem ser ferramentas valiosas para auxiliar treinadores, profissionais do esporte e atletas na vigilância das alterações fisiológicas, reduzindo a ocorrência de overtraining (sobretreinamento) e o risco de lesões (HALLER *et al.*, 2023). Biomarcadores, ou marcadores biológicos, são substâncias mensuráveis que refletem o estado biológico, indicando alterações no organismo em resposta a estímulos provenientes de exercícios, condições patológicas ou tratamentos farmacológicos (FINSTERER, 2012; HALLER *et al.*, 2023).

Entre os biomarcadores de dano muscular, a CK tem sido utilizada como estratégia para controle da carga de treino e jogos em atletas de futebol (LAZARIM

et al., 2009; COELHO *et al.*, 2011; COELHO *et al.*, 2013; OWEN *et al.*, 2015; ROMAGNOLI *et al.*, 2016; MENDES *et al.*, 2022). Grande quantidade sérica da CK sugere a ocorrência de maiores danos musculares permitindo, de forma indiretamente, determinar o grau de agressão gerado pelo exercício (ALVES *et al.*, 2015).

A CK, uma enzima compacta de aproximadamente 82 kDa, está presente tanto no citosol quanto nas mitocôndrias de tecidos com demanda energética elevada. No citosol, é composta por duas subunidades polipeptídicas de cerca de 42 kDa, incluindo as subunidades M (muscular) e B (cerebral) (BAIRD *et al.*, 2012). Essa composição permite a formação de três isoenzimas específicas para diferentes tecidos: CK-MB (músculo cardíaco), CK-MM (músculo esquelético) e CK-BB (cérebro). Sua função celular envolve a catalisação da reação reversível entre a fosfocreatina (PCr) e a adenosina difosfato (ADP), produzidos durante a contração muscular, regulando as concentrações de ADP e ATP no organismo (BAIRD *et al.*, 2012). Dada a importância da CK na regulação da homeostase energética muscular, a isoforma CK-MM é amplamente presente nas miofibras e é liberada no espaço extracelular quando ocorre a perda da integridade fisiológica do sarcolema (FORCINA; COSENTINO; MUSARÒ, 2020).

No futebol, alguns estudos foram realizados com o monitoramento da CK e outros parâmetros após os jogos com objetivo de se investigar o estresse fisiológico imposto aos jogadores. Coelho *et al.* (2011), analisaram a cinética da concentração plasmática de CK em jogadores profissionais de um clube da primeira divisão do futebol brasileiro. As amostras foram coletadas em intervalos de tempo específicos, 12-20h, 36-48h, 60-65h e 90-110h após os jogos, ao longo de uma temporada competitiva sem interrupções no programa de treinamento. Os resultados indicaram um pico na concentração de CK entre 12-20h após a partida, com os valores retornando aos níveis normais de treinamento por volta de 60-65h (COELHO *et al.*, 2011). No estudo de Mendes *et al.*, (2022) onde foi analisada a cinética da concentração plasmática de CK em 35 jogadores profissionais de um clube da primeira divisão do futebol português. As amostras foram coletadas em intervalos de tempo específicos, 24h, 48h, 72h e 96h após os jogos, ao longo de uma temporada competitiva. Os resultados indicaram um pico na concentração de CK 24h após os

jogos (MENDES *et al.*, 2022).

Diante do princípio da individualização da carga de treinamento no contexto do treinamento esportivo (Smith, 2003), é razoável inferir que a avaliação do estado físico do atleta, incluindo a análise do estado muscular, deve ser individualizada. A análise de uma variável sanguínea que leve em conta tanto os valores basais quanto as variações individuais é mais apropriada do que aquela que se baseia apenas em valores absolutos (ALVES *et al.*, 2015).

A metodologia proposta por Alves *et al.* (2015) para calcular o percentual individualizado da CK após o jogo envolve a coleta dos níveis de CK em repouso (CKrep) e após as partidas (CKJogo) ao longo da temporada competitiva. O valor mais elevado encontrado, denominado CK máxima (CKmáx), é utilizado como referência. A diferença entre CKJogo e CKrep, representada como ΔCKJogo , e a diferença entre CKmáx e CKrep, representada como $\Delta\text{CKmáx}$, são calculadas. Com base na CKmáx estabelecida como 100%, os valores de ΔCKJogo podem ser relativizados usando a seguinte fórmula: $\Delta\text{CKJogo}/\Delta\text{CKmax} \times 100$, resultando em $\%\Delta\text{CKJogo}$.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Cuidados Éticos

O presente estudo cumpriu todas as normas estabelecidas pelo Conselho Nacional em Saúde (2012), envolvendo pesquisa com seres humanos (RES 466/12). Os procedimentos do estudo foram submetidos e aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (CEP – UFMG), sob o parecer de nº (CAAE: 75176423.8.0000.5149) (ANEXO).

Todos os voluntários foram informados sobre os procedimentos do estudo e sobre os critérios de inclusão e exclusão do estudo. Ademais, foi exposto que os voluntários poderiam não participar ou cancelar sua participação a qualquer momento. Cabe ainda ressaltar que foi esclarecido que todos os dados coletados seriam utilizados apenas para fins desta pesquisa e que somente os pesquisadores envolvidos no estudo teriam acesso às informações. Os procedimentos foram realizados por profissionais qualificados e experientes, a fim de assegurar a integridade e segurança dos voluntários. Além disso, todas orientações, informações relevantes, procedimentos realizados, bem como contato dos responsáveis por este estudo constam no termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) (APÊNDICE 1), o qual foi lido e assinado pelos voluntários.

3.2. Participantes

O estudo foi realizado com jogadores de futebol do sexo masculino ($18,3 \pm 1$ anos; $73,1 \pm 5,3$ kg; $9,3 \pm 1,6$ %G, $17,4.1 \pm 5,8$ cm, 56.3 ± 3.1 mL.kg⁻¹.min⁻¹), da categoria Sub20, que disputam competições oficiais organizadas e/ou reconhecidas pela Confederação Brasileira de Futebol (CBF) pertencentes a um clube de futebol brasileiro da primeira divisão. A amostra do estudo foi selecionada por conveniência, por ser um estudo composto por atletas de futebol de elite Sub-20 contratados por clube esportivo.

Os critérios de inclusão adotados foram: a) faixa etária entre 18 e 20 anos; b) estar vinculado a um clube de futebol de elite brasileiro; c) participar de treinamentos

regulares; d) não apresentar histórico de doenças renais; e) não estar sob efeito de tratamento medicamentoso; f) não utilizar qualquer diurético e antisséptico; g) não ter apresentado febre até 7 dias anteriores ao início do estudo; h) ler e assinar termo de consentimento livre e esclarecido. Já os critérios de exclusão serão: a) apresentar queixa de dor acompanhada por diagnóstico de lesão musculoesquelética nos membros inferiores, na pelve e/ou na coluna lombar, e, b) apresentar estado febril ou infeccioso durante o período do estudo.

No primeiro dia do estudo, para a caracterização dos participantes, os sujeitos foram submetidos a uma avaliação física na qual foram mensuradas massa corporal (kg), estatura (cm) e dobras cutâneas para o cálculo de densidade corporal (JACKSON; POLLOCK 1978) e do percentual de gordura (%G) (SIRI, 1961).

3.3. Delineamento Metodológico

No primeiro dia do estudo, para a caracterização dos participantes, os sujeitos foram submetidos a uma avaliação física na qual foram mensuradas massa corporal (kg), estatura (cm) e dobras cutâneas para o cálculo de densidade corporal (JACKSON; POLLOCK 1978) e do percentual de gordura (%G) (SIRI, 1961).

Após a caracterização da amostra, foi realizada a aquisição dos termogramas e coleta da concentração sérica de CK para criação de um perfil basal. 24 e 48 horas após o término dos jogos acontecia a aquisição dos termogramas e a coleta da concentração sérica de CK, finalizando o processo de coleta de dados para o estudo (conforme figura 1). Foram analisados 3 jogos nesse estudo. Durante os jogos, os participantes utilizaram um GPS de 10-Hz com acelerômetro acoplado modelo Polar Team Pro®, para captar as variáveis de deslocamento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4. Caracterização da Amostra

A massa corporal (kg) e a estatura (cm) foram mensuradas com o voluntário descalço, utilizando uma sunga como vestimenta, por meio de uma balança digital com estadiômetro acoplado (Filizola[®], São Paulo, BR). Para estimar o percentual de gordura foram mensuradas as dobras cutâneas a seguir: subescapular, tricipital, peitoral, axilar-média, suprailíaca, abdominal e da coxa por meio de um plicômetro graduado em milímetros (Lange[®], Cambridge Scientific Industries, Inc., EUA). Os valores de cada dobra cutânea foram utilizados para o somatório das dobras (Σ dobras) para os cálculos de densidade corporal (JACKSON; POLLOCK, 1978) e do %G (SIRI, 1961).

3.5. Avaliação da concentração sérica de CK

A concentração sérica de CK foi avaliada por fotometria de reflectância a 37°C através do analisador sanguíneo SimplexTASTM101 da ECO[®]. Esse aparelho foi calibrado de acordo com as recomendações do manual. Após a assepsia do dedo com álcool, uma amostra de sangue de 30 μ l foi coletada por punção digital e posteriormente colocada em cartuchos reagentes específicos que foram inseridos no aparelho. Os compartimentos de cartucho são projetados para receber até quatro cartuchos de reagentes em um único procedimento. Assim o resultado da avaliação da concentração sérica de CK era demonstrado após 11 minutos da inserção dos cartuchos com o sangue no aparelho. Após o resultado, esse material era

descartado em local específico.

3.6. Aquisição dos Termogramas

Para uma padronização da aquisição dos termogramas e reduzir a influência de variáveis que podem afetar o exame, foram produzidas diretrizes internacionais sobre aquisição de imagens, com foco no preparo do paciente/participante antes e durante o exame, condições da sala, preparo dos equipamentos e forma de registro das imagens (MOREIRA *et al.*, 2017).

A aquisição dos termogramas foi realizada por meio de um termovisor (FLIR®, T540, Estocolmo), com amplitude de medição de -20 a +120°C, precisão de 1%, sensibilidade $\leq 0,02^\circ\text{C}$, banda espectral dos infravermelhos de 7,5 μm a 13 μm , taxa de atualização de 60Hz, foco automático e resolução FULL HD. O local de aquisição das imagens se manteve em temperatura entre 20 e 22°C e a umidade do ar entre 55-65%. O equipamento foi mantido a uma distância de 1,5m do voluntário, o qual estava vestido apenas de sunga, em pé e em posição estática, por pelo menos 10 minutos para que ocorra um equilíbrio térmico antes da aquisição das imagens (MARINS *et al.*, 2015). Foram capturados dois termogramas (visão posterior e anterior dos MMII) e as imagens foram selecionadas e visualizadas em software específico (APOLLO® versão 1.5 Brasil) para análise por meio do método de termopixelgrafia (FERNANDES, *et al.*, 2017a). Esse método agrupa a frequência do número de pixels e sua porcentagem em três zonas de temperatura: fria ($< 30.99^\circ\text{C}$), neutra (31°C a 32.99°C) e quente ($\geq 33^\circ\text{C}$) entretanto, em nosso estudo, utilizaremos apenas a zona quente (ZQ).

3.7. Dados de GPS

Para monitoramento e quantificação das variáveis de deslocamento foi utilizado um dispositivo de GPS e monitor cardíaco da marca Polar com frequência de aquisição de 10 Hz e transmissão das informações via Bluetooth. O dispositivo era acoplado em uma fita elástica que ficava na altura do peitoral do atleta. Os dados foram exportados para o software da Polar®, o qual gerava um relatório e o exportava no formato Microsoft Office Excel. As variáveis utilizadas nesse estudo foram: distância total em metros, distância em alta intensidade em metros ($>20\text{km/h}$), distância em sprint em metros ($>25\text{km/h}$), Ações de alta intensidade (a soma do

número de acelerações de alta intensidade ($>2,8\text{m/s}^2$) e número de desacelerações em alta intensidade ($>-2,8\text{m/s}^2$).

3.8. Análise Estatística

Os dados são apresentados como média e desvio padrão. A normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro -Wilk. As diferenças entre os tempos de coleta foram analisadas por meio de ANOVA One Way, seguida do post hoc de Tukey. Para a avaliação da relação entre a $\%\Delta\text{CKJogo}$, zonas quentes e as demandas de jogo foi utilizada a correlação de Pearson. O pacote estatístico utilizado para todas as análises foi o Sigma Plot *version* 11.0 (Systat Software, Inc). O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$.

4. RESULTADOS

Os dados de GPS valores de CK e ZQ das partidas analisadas durante o estudo estão descritos nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Descrição da carga externa durante as partidas analisadas.

| JOGO | DT (m) | | DAI (m) | | DAI2 (m) | | AAI (n°) | |
|--------|---------|---------------|---------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|
| | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão |
| Jogo 1 | 9136,11 | 778,04 | 692,78 | 139,94 | 239,67 | 134,68 | 86,22 | 19,58 |
| Jogo 2 | 9198,11 | 995,78 | 624 | 182,11 | 132,44 | 67,29 | 80 | 17,06 |
| Jogo 3 | 8619,14 | 1602,51 | 854,29 | 194,97 | 246,86 | 103,67 | 84,71 | 14,52 |

Distância total (DT), Distância total percorrida acima de 20km/h (DAI), Distância total percorrida acima de 25km/h (DAI2), Ações de alta intensidade (AAI).

Tabela 2. Valores de CK e ZQ após as partidas analisadas.

| JOGO | CK 24h Pós Jogo (ua) | | CK 48h Pós Jogo (ua) | | ZQ 24h Pós Jogo (N° de pixels) | | ZQ 48h Pós Jogo (N° de pixels) | |
|--------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|--------------------------------|---------------|--------------------------------|---------------|
| | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão |
| Jogo 1 | 631,33 | 277,19 | 412,89 | 194,58 | 29,76 | 23,21 | 14,27 | 7,10 |
| Jogo 2 | 719 | 368,46 | 464,33 | 317,54 | 40,22 | 27,75 | 27,32 | 20,79 |
| Jogo 3 | 865,43 | 298,1 | 529,57 | 278,03 | 63,27 | 27,42 | 37,81 | 22,33 |

Creatina Quinase (CK), Zona quente (ZQ).

Correlação: Distância total e Zona quente

Não houve correlação significativa entre a distância total percorrida e os valores de zona quente nos momentos 24 e 48 horas após as partidas (Figuras 6 e 7).

Figura 5. Correlação entre os valores de zona quente 24h após as partidas e a distância total percorrida em jogadores de futebol Sub-20.

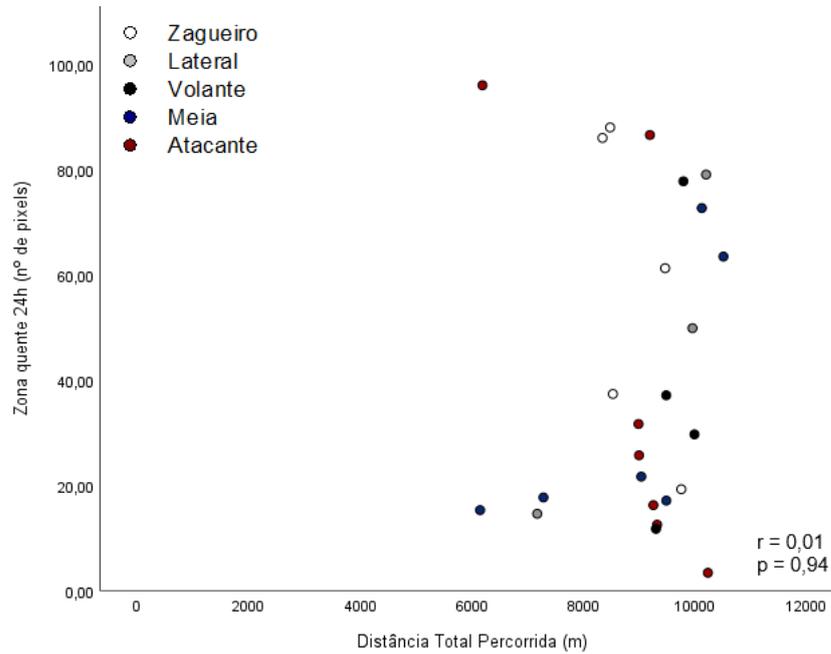
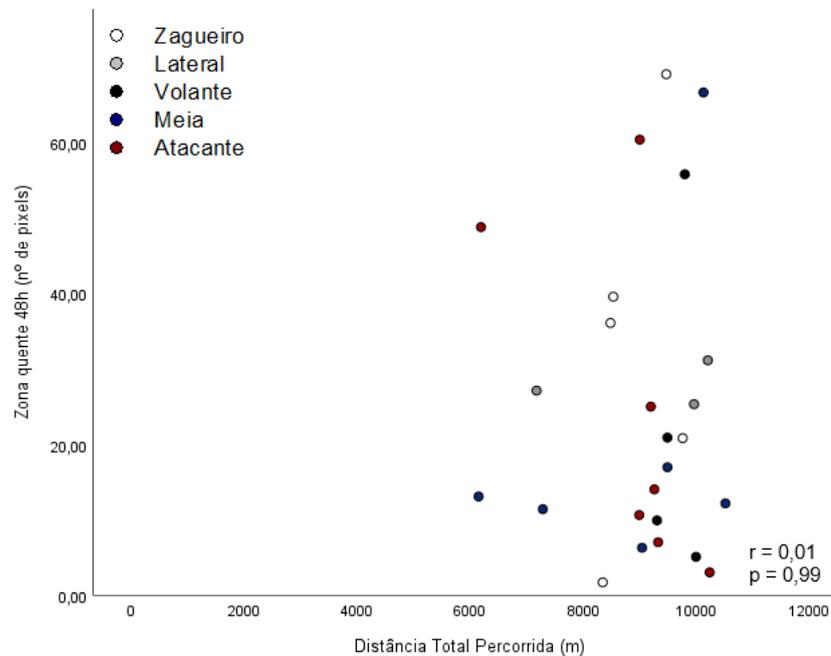


Figura 6. Correlação entre os valores de zona quente 48h após as partidas e a distância total percorrida em jogadores de futebol Sub-20.



Correlação: Distância total percorrida acima de 20km/h e Zona quente

Não houve correlação significativa entre a distância total percorrida acima de 20km/h e os valores de zona quente nos momentos 24 e 48 horas após as partidas (Figuras 8 e 9).

Figura 7. Correlação entre os valores de zona quente 24h após as partidas e a distância total percorrida acima de 20 km/h em jogadores de futebol Sub-20.

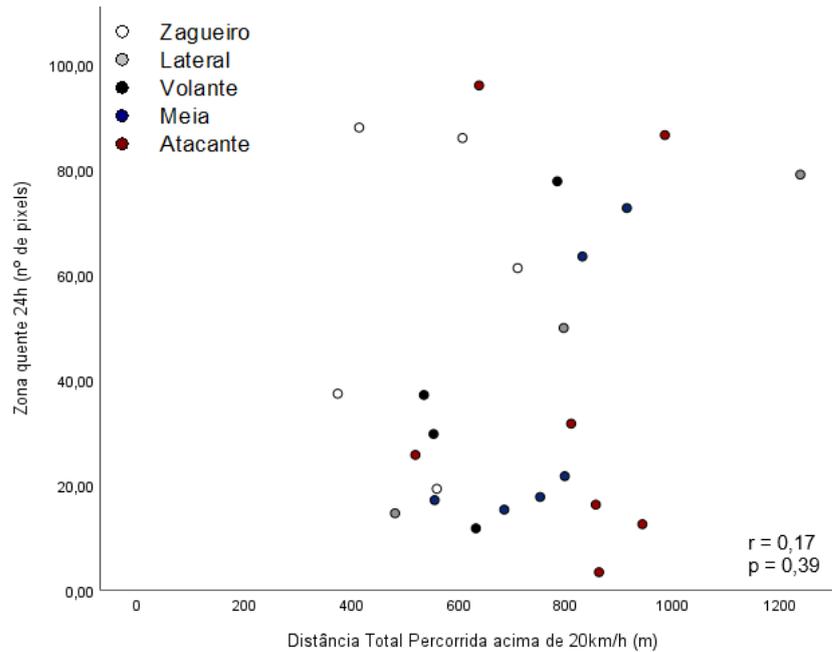
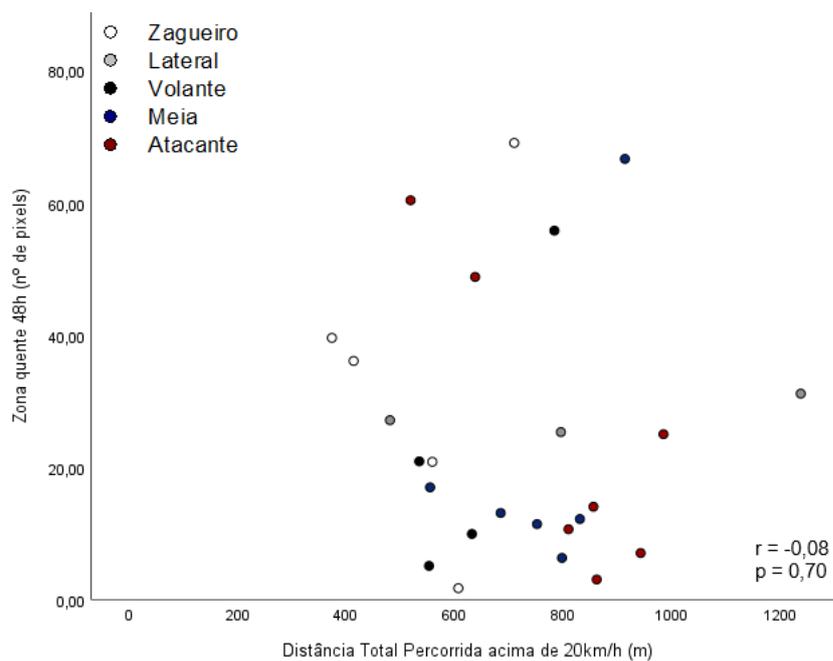


Figura 8. Correlação entre os valores de zona quente 48h após as partidas e a distância total percorrida acima de 20 km/h em jogadores de futebol Sub-20.



Correlação: Distância total percorrida acima de 25km/h e Zona quente

Não houve correlação significativa entre a distância total percorrida acima de 25km/h e os valores de zona quente nos momentos 24 e 48 horas após as partidas (Figuras 10 e 11).

Figura 9. Correlação entre os valores de zona quente 24h após as partidas e a distância total percorrida acima de 25 km/h em jogadores de futebol Sub-20.

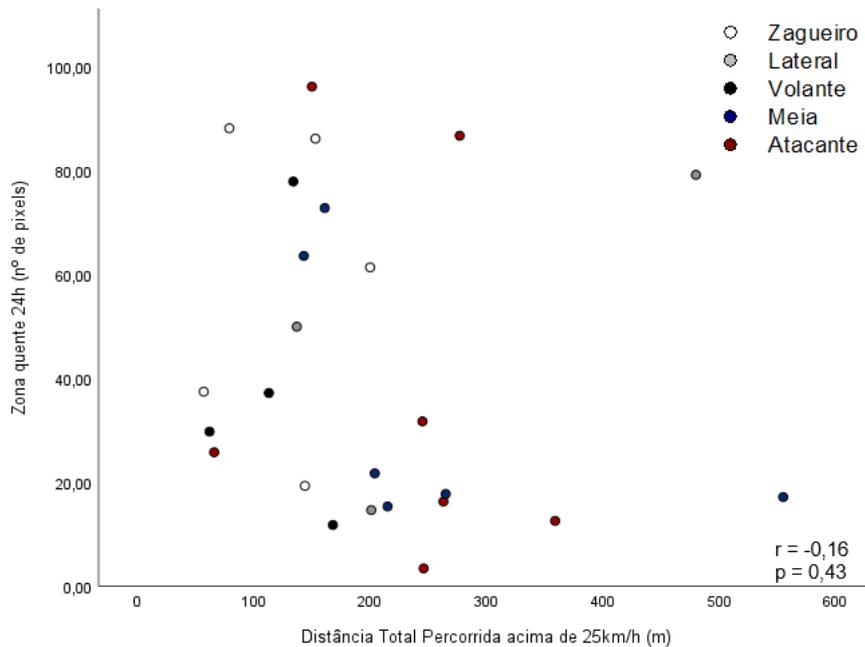
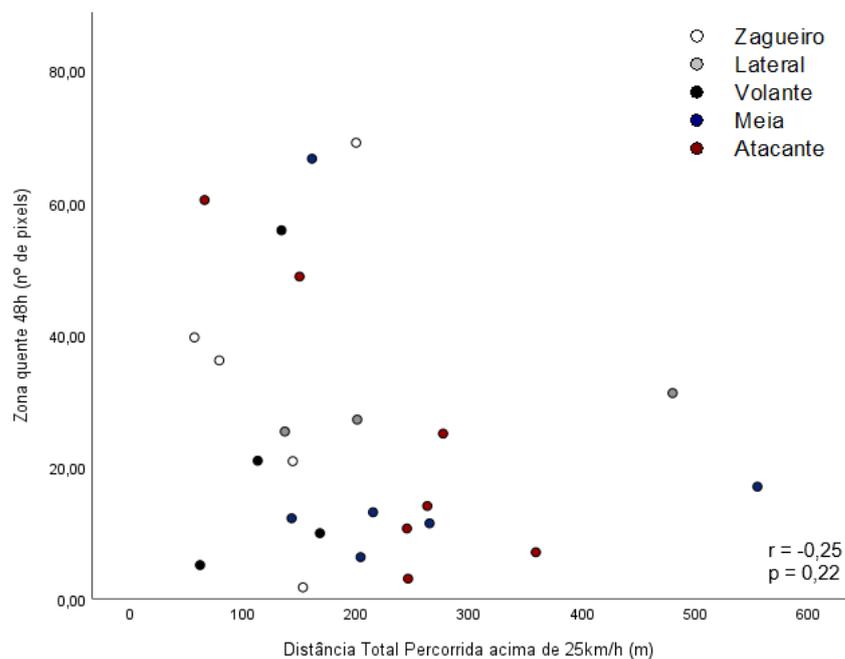


Figura 10. Correlação entre os valores de zona quente 24h após as partidas e a distância total percorrida acima de 25 km/h em jogadores de futebol Sub-20.



Correlação: Ações de alta intensidade e Zona quente

Não houve correlação significativa entre ações de alta intensidade e os valores de zona quente nos momentos 24 e 48 horas após as partidas. (Figuras 12 e 13).

Figura 11. Correlação entre os valores de zona quente 24h após as partidas e ações de alta intensidade em jogadores de futebol Sub-20.

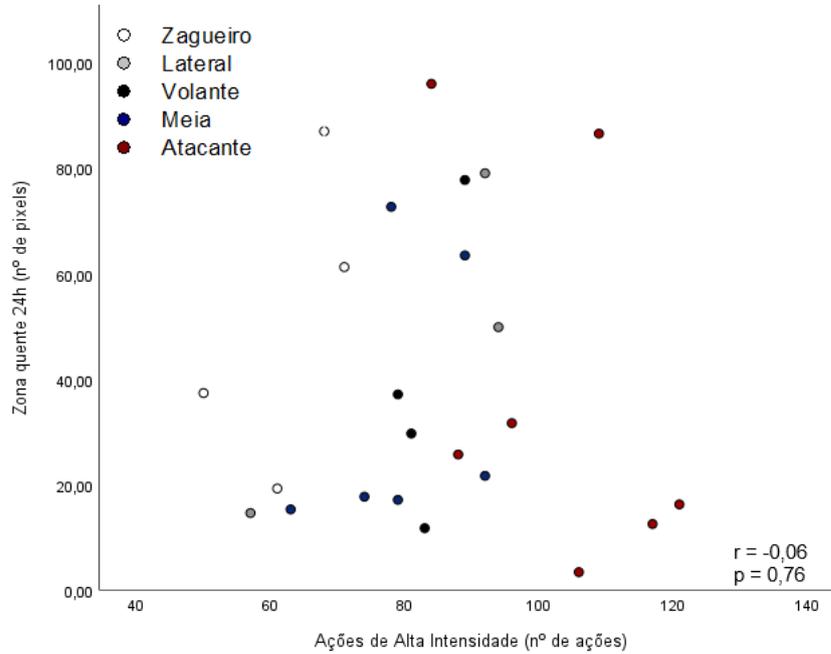
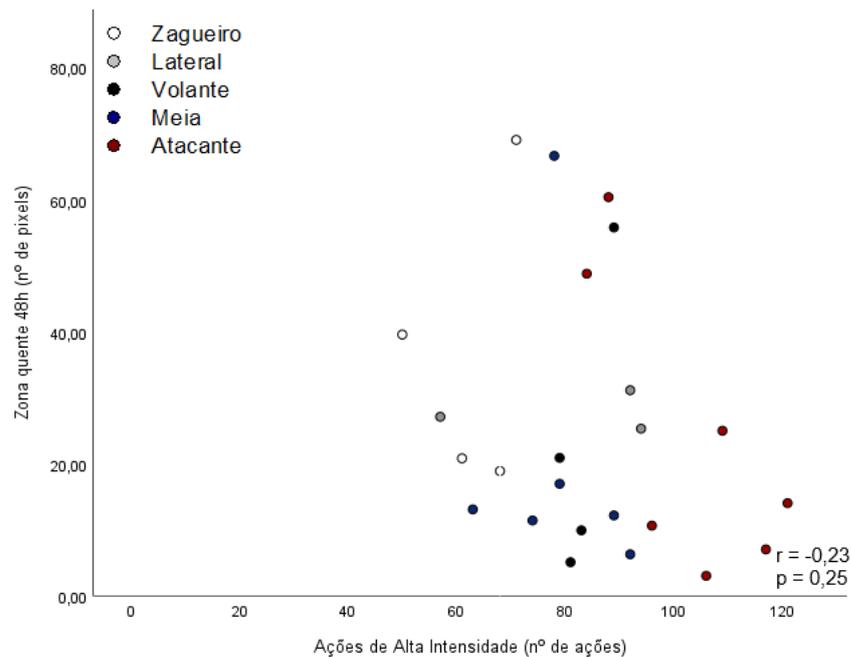


Figura 12. Correlação entre os valores de zona quente 48h após as partidas e ações de alta intensidade em jogadores de futebol Sub-20.



Correlação: Distância total e CK

Não houve correlação significativa entre a distância total percorrida e os valores de CK nos momentos 24 e 48 horas após as partidas (Figuras 14 e 15).

Figura 13. Correlação entre os níveis de CK 24h após as partidas e a distância total percorrida em jogadores de futebol Sub-20.

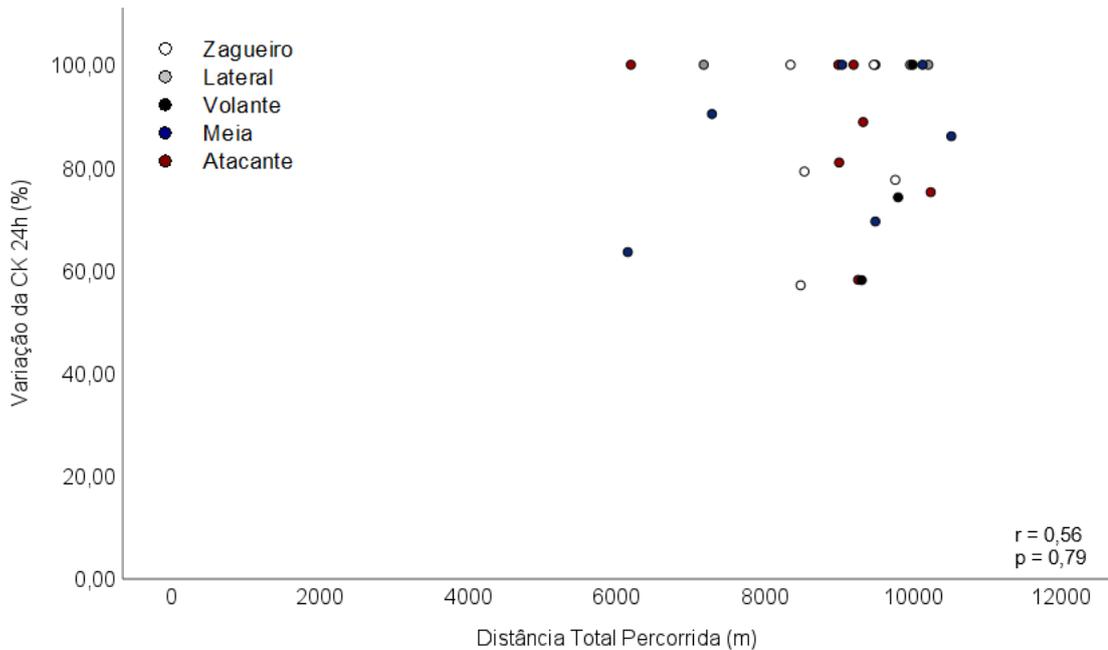
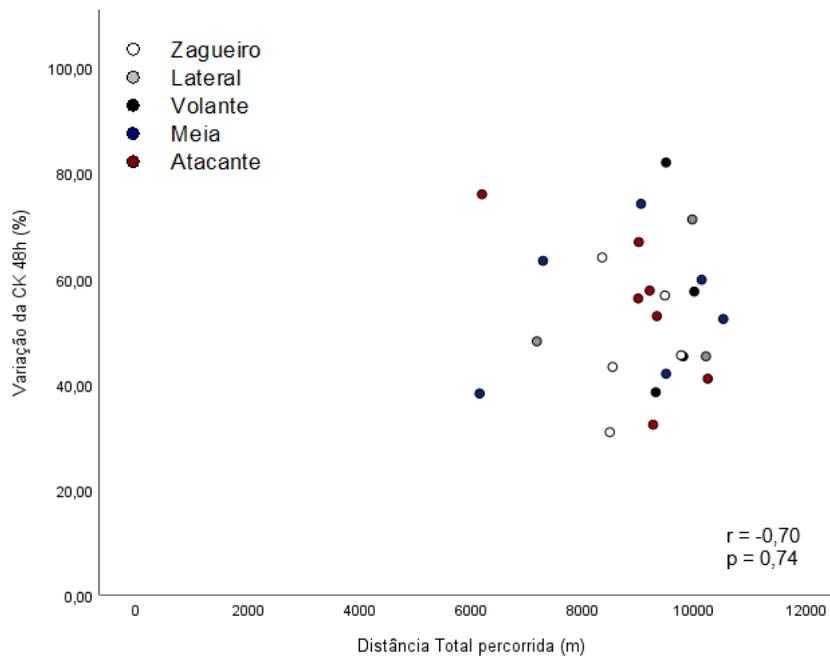


Figura 14. Correlação entre os níveis de CK 48h após as partidas e a distância total percorrida em jogadores de futebol sub-20.



Correlação: Distância total percorrida acima de 20km/h e CK

Não houve correlação significativa entre a distância total percorrida acima de 20km/h e os valores de CK nos momentos 24 e 48 horas após as partidas (Figuras 16 e 17).

Figura 15. Correlação entre os níveis de CK 24h após as partidas e a distância total percorrida acima de 20 km/h em jogadores de futebol Sub-20.

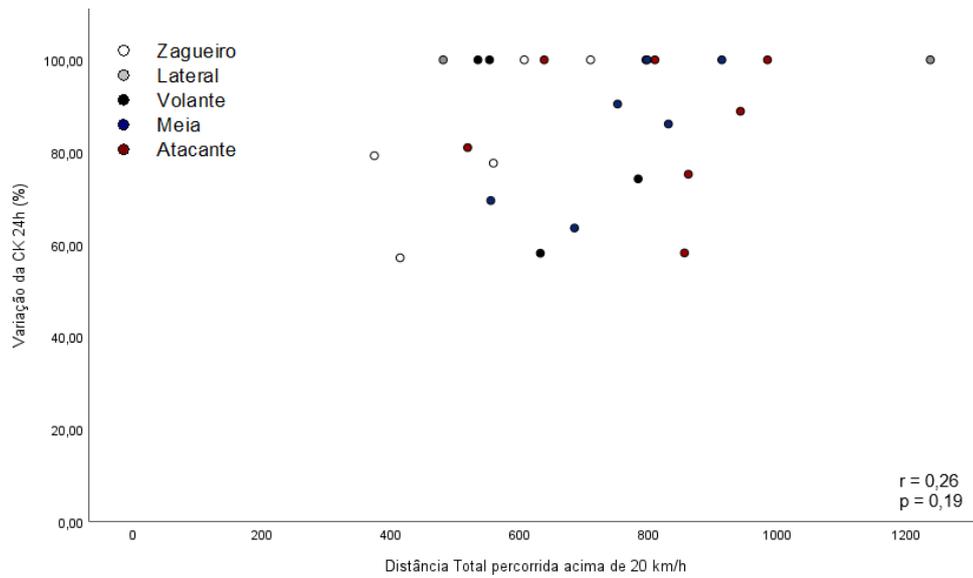
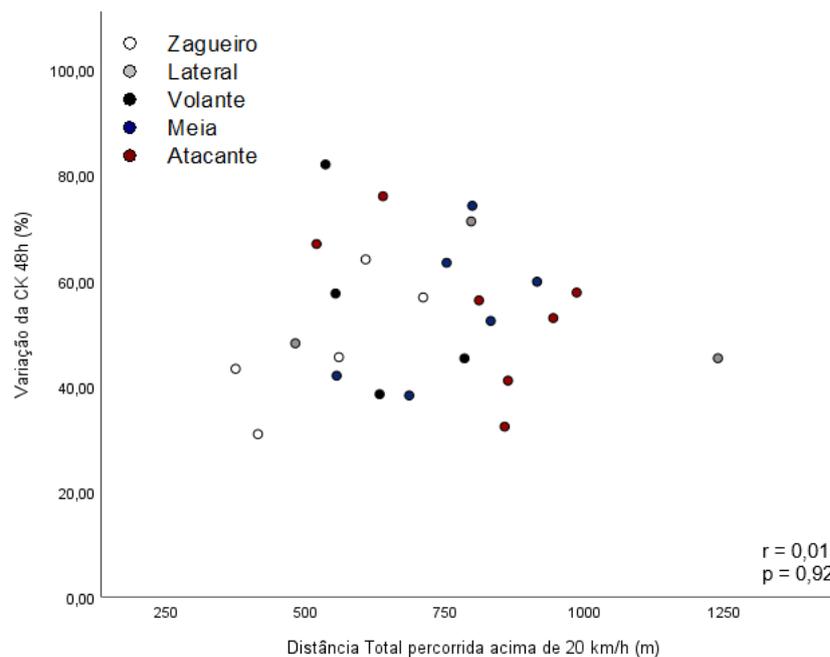


Figura 16. Correlação entre os níveis de CK 48h após as partidas e a distância total percorrida acima de 20 km/h em jogadores de futebol Sub-20.



Correlação: Distância total percorrida acima de 25km/h e CK

Não houve correlação significativa entre a distância total percorrida acima de 25km/h e os valores de CK nos momentos 24 e 48 horas após as partidas (Figuras 18 e 19).

Figura 17. Correlação entre os níveis de CK 24h após as partidas e a distância total percorrida acima de 25 km/h em jogadores de futebol Sub-20.

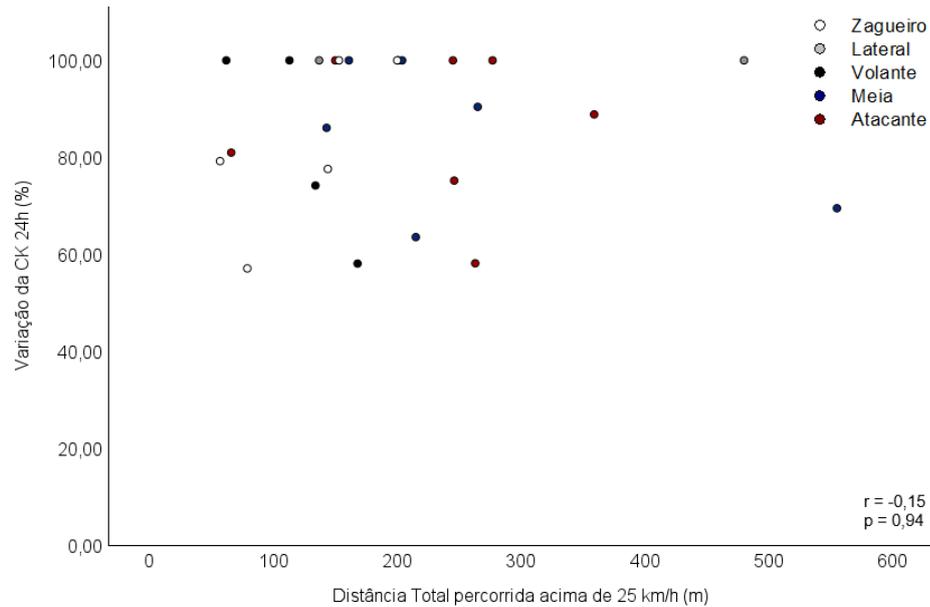
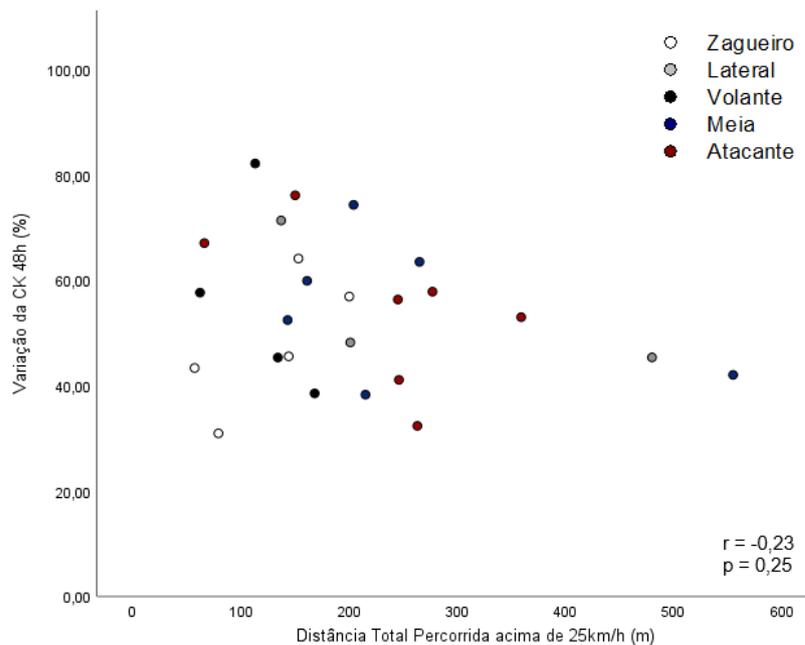


Figura 18. Correlação entre os níveis de CK 48h após as partidas e a distância total percorrida acima de 25 km/h em jogadores de futebol Sub-20.



Correlação: Ações de alta intensidade e CK

Não houve correlação significativa entre ações de alta intensidade e os valores de CK nos momentos 24 e 48 horas após as partidas (Figuras 20 e 21).

Figura 19. Correlação entre os níveis de CK 24h após as partidas e ações de alta intensidade em jogadores de futebol Sub-20.

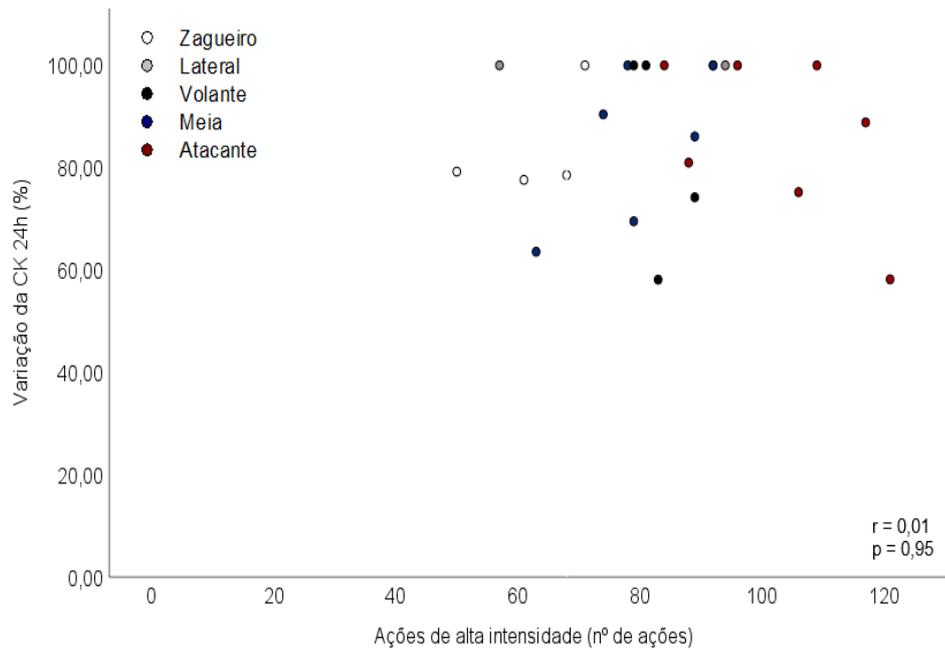
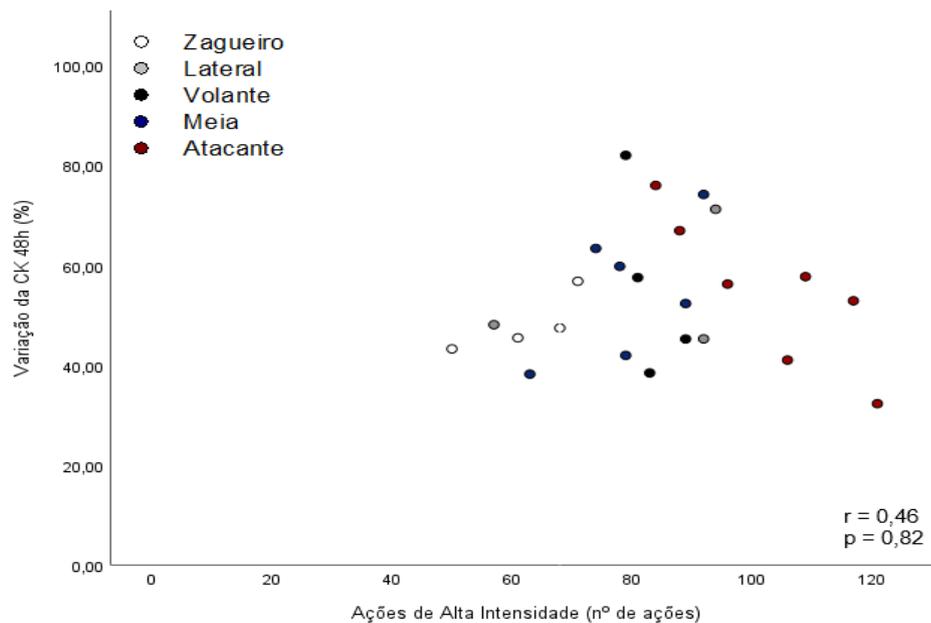


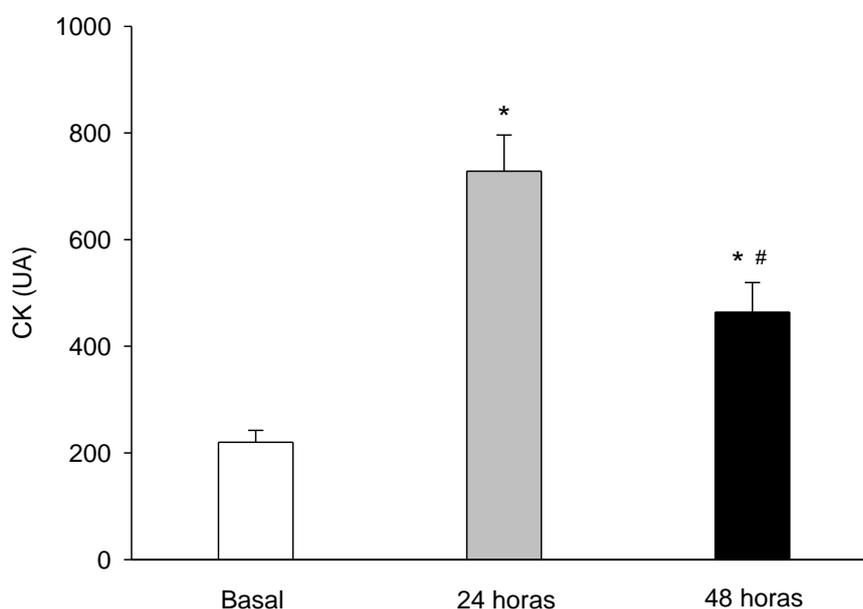
Figura 20. Correlação entre os níveis de CK 48h após as partidas e ações de alta intensidade em jogadores de futebol Sub-20.



Cinética da CK nos momentos 24 e 48 horas após as partidas.

Os níveis de creatina quinase (CK) foram avaliados em atletas após partidas de futebol, sendo comparados com os valores basais. Observou-se que os níveis de CK 24 e 48 horas após as partidas foram significativamente maiores do que os valores basais ($p < 0,05$). Além disso, constatou-se que os níveis de CK 24 horas após as partidas foram estatisticamente superiores em relação aos observados 48 horas após as partidas ($p < 0,05$) (Figura 22).

Figura 21. Níveis de CK em jogadores de futebol sub-20 nos momentos basal, 24 e 48 horas pós partidas.

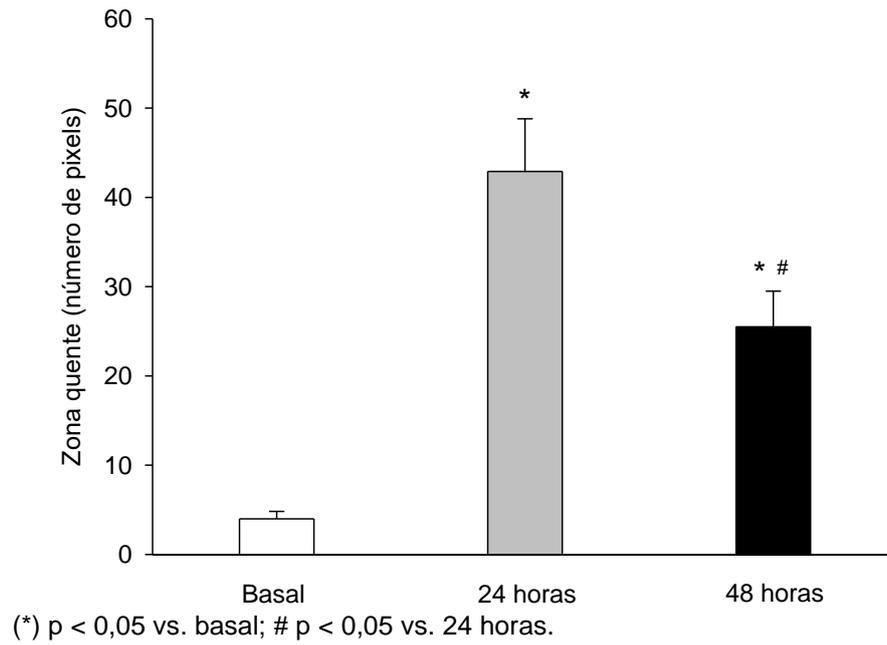


(*) $p < 0,05$ vs. basal; # $p < 0,05$ vs. 24 horas

Cinética da Zona Quente nos momentos 24 e 48 horas após as partidas.

Os valores da Zona Quente foram avaliados em atletas após partidas de futebol, sendo comparados com os valores basais. Observou-se que os valores de Zona Quente 24 e 48 horas após as partidas foram significativamente maiores do que os valores basais ($p < 0,05$). Além disso, constatou-se que os valores de Zona Quente 24 horas após as partidas foram estatisticamente superiores em relação aos observados 48 horas após as partidas ($p < 0,05$) (Figura 23).

Figura 22. Valores de Zona Quente em jogadores de futebol sub-20 nos momentos basal, 24 e 48 horas após uma partida.



5. DISCUSSÃO

A utilização de técnicas indiretas e não invasivas pode aumentar a eficiência na realização de medições em mais atletas com menor custo e sem causar o desconforto decorrente da coleta de sangue (GASTIN *et al.*, 2019). Tendo em vista isto, este estudo teve como objetivo principal, investigar a correlação entre a carga externa com a temperatura da pele e os níveis de CK 24 e 48 horas após partidas de futebol. Nossos principais achados demonstram a ausência de correlação entre temperatura da pele, concentração sérica de CK e variáveis de GPS após 24 e 48 horas de uma partida.

Os achados deste estudo são similares aos encontrados por De Carvalho *et al.*, 2021, os autores investigaram a correlação entre a temperatura da pele nos membros inferiores de atletas de futebol e biomarcadores, dados de desempenho e escalas de recuperação. Não foram encontradas correlações entre temperatura da pele, concentração sérica de CK e nenhuma variável de GPS após 48 horas de uma partida. No estudo de Scott *et al.*, 2016, com jogadores da Premier League, investigou-se a possível relação entre o desempenho físico durante os jogos e a concentração sérica de CK, analisados 48 horas após as partidas. Os resultados não apresentaram correlação significativa com os marcadores de desempenho físico.

Russel *et al.*, 2016, realizaram uma pesquisa com 15 jogadores com idade média de 20 ± 1 anos de uma equipe da Premier League. Os autores investigaram a possível relação entre o desempenho físico durante os jogos e a concentração sérica de CK, analisados 24 e 48 horas após as partidas. Os resultados não apresentaram correlação significativa entre a concentração sérica de CK com os marcadores de desempenho físico 48 horas após as partidas. Esses resultados sugerem que utilizar apenas a carga externa não possibilita uma estimativa indireta do dano muscular e das alterações fisiológicas nos jogadores 24 e 48 horas após as partidas.

As variáveis de GPS utilizados em nosso estudo são similares às utilizadas em publicações anteriores (AKENHEAD; NASSIS, 2016; MIGUEL *et al.*, 2021). Isso sugere que variáveis de GPS utilizadas em nosso estudo representam adequadamente as exigências físicas encontradas em uma partida futebol profissional.

No entanto, existem estudos que contradizem nossos achados, encontrando associações entre a carga externa durante o jogo a Tp e biomarcadores de dano muscular. Na pesquisa de Freire *et al.*, (2021), com 24 jogadores de futebol profissional, foram encontradas associações entre a carga externa e os níveis de CK. Ocorreu uma correlação negativa entre a distância total percorrida e os níveis de CK após 24 e 48 horas do jogo. Isso sugere que existe uma relação entre a intensidade do esforço e a resposta muscular. Além disso, foi demonstrado que medidas como deslocamento por minuto, esforços explosivos, acelerações e desacelerações têm uma correlação positiva, embora fraca, com os níveis de CK. Russel *et al.*, (2016) encontraram correlações positivas entre distância percorrida em alta intensidade, número de *sprint* e concentração sérica de CK 24 horas após partidas de futebol profissional de um time da *Premier League*.

Os resultados da pesquisa conduzida por Majano *et al.* (2023) revelam uma relação significativa entre a demanda física durante os jogos de futebol e a temperatura da pele dos jogadores. Observou-se que as altas demandas físicas, que incluem a realização de ações de alta intensidade, acelerações de alta intensidade e desacelerações de alta intensidade, estão positivamente correlacionadas com aumentos na temperatura da pele 72 horas após partidas.

Essas divergências podem ser atribuídas a diferenças metodológicas, como a intensidade do jogo e os protocolos de recuperação utilizados em cada estudo e também pelas diferenças fisiológicas entre esses marcadores. A CK é um marcador bioquímico sistêmico presente na corrente sanguínea, e seus valores podem ser alterados por danos nos músculos. Por outro lado, embora a temperatura corporal também seja sistêmica, a temperatura da pele superficial (medida pela termografia) é um indicador local (FERNANDES *et al.*, 2017a). Além disso, a temperatura da pele pode ser influenciada por inflamações ou infecções, fraturas, edema, etc. Valores de CK, por outro lado, não são necessariamente modificados por esses tipos de alterações, exceto quando resultam de uma lesão muscular (BANDEIRA *et al.*, 2012).

Em relação a cinética da Tp dos MMII e da concentração sérica de CK, é possível observar o comportamento similar da Tp ao apresentado pela análise da CK, seja ela em valores brutos de (U/L), ou seu % individualizado. Os valores foram maiores em todos os momentos pós jogo avaliados em relação à situação pré, apresentando os maiores valores 24 horas pós jogo. Embora a amostra desse estudo foi composta por jogadores da categoria Sub20, nossos resultados vão de acordo a estudos anteriores que demonstraram que a Tp dos MMII (FERNANDES *et al.*, 2017a, 2017b; DUARTE *et al.*, 2022) e a concentração sérica de CK (COELHO *et al.*, 2011; RUSSELL *et al.*, 2016) alcançam seus valores de pico aproximadamente 24h após uma partida de futebol e permanecem elevados em relação ao baseline 48 horas pós jogos.

Os resultados do estudo de Coelho *et al.*, (2011) com jogadores profissionais de um time durante o Campeonato Brasileiro revelaram que a concentrações sérica de CK aumentaram significativamente após os jogos em comparação com os valores prévios, sugerindo um dano muscular associado à atividade esportiva. Já Russel *et al.*, (2015), avaliaram a concentração sérica de CK de 14 jogadores de um time da *Premier League* Sub21 24 e 48 horas pós jogos. Os resultados deste estudo destacaram que a concentração sérica de CK tem seu pico 24 horas após os jogos e permanece elevada 48 horas após os jogos de futebol, em comparação com os níveis basais.

Fernandes *et al.*, (2017b) analisaram o efeito de duas partidas na temperatura da pele de 10 jogadores de uma equipe sub 20 do Campeonato Brasileiro. Os resultados deste estudo demonstraram que houve um aumento na temperatura da pele dos jogadores após dois jogos consecutivos. Após o primeiro jogo, foi observado um aumento médio de 1,0 °C em relação aos valores de repouso registrados 24 horas antes da partida. Após o segundo jogo, esse aumento foi ainda maior, atingindo uma média de 1,5 °C em relação aos valores de repouso registrados 24 horas após o jogo. Além disso, os valores de CK apresentaram um padrão semelhante aos dados de temperatura da pele, com um aumento significativo 24 horas após o primeiro jogo, seguido por uma redução 48 horas após o primeiro jogo, e novamente um aumento significativo 24 horas após o segundo jogo, com uma redução menor 48 horas após o segundo jogo.

O estudo realizado por Duarte *et al.* (2022) analisou a temperatura da pele dos membros inferiores de jogadores de um time da primeira divisão do

Campeonato Brasileiro após três jogos consecutivos. Os resultados indicaram que a temperatura da pele dos membros inferiores foram significativamente elevados em 24 e 48 horas após os jogos, em comparação com os níveis basais.

O estudo conduzido por Fernandes *et al.* (2017) investigou os efeitos de um jogo de futebol profissional na temperatura da pele dos membros inferiores e nos níveis de CK em um jogador de uma equipe da primeira divisão do Campeonato Brasileiro. Os resultados demonstraram um aumento significativo na temperatura da pele 24 horas após o jogo, juntamente com um aumento expressivo nos níveis de CK, indicando possíveis danos musculares e uma resposta inflamatória aguda.

Esses dados indicam que a participação em uma partida de futebol resulta em um grande número de microlesões musculares que podem estar associadas a uma resposta inflamatória local aguda, dada a alta concentração de CK e Tp encontrada. Esses danos podem estar relacionados à quantidade de ativação excêntrica do músculo, pois tais ações resultam em uma maior tensão por área transversal (THORPE; SUNDERLAND, 2012). Essas ações são comuns durante momentos intensos de atividade dentro de uma partida de futebol (LAZARIM *et al.*, 2009) e, portanto, representam uma explicação potencial para os achados deste estudo.

6. CONCLUSÃO

Enquanto as respostas da CK e Tp pós jogos são indicadores da resposta fisiológica dos atletas, as variáveis de GPS não fornecem uma imagem completa do dano muscular e da recuperação dos atletas. A falta de correlação entre a carga externa e os biomarcadores internos ressalta a necessidade de uma abordagem multifatorial para monitorar e gerenciar a recuperação dos atletas.

A presente dissertação contribui para a compreensão da complexidade da resposta fisiológica ao exercício em jovens atletas de futebol. Ela destaca a importância de uma abordagem multifatorial, integrando diferentes tipos de dados, para uma avaliação mais abrangente e eficaz da carga de treino e da recuperação dos atletas.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, A. S. F.; DIAS, F. A. M.; MARINS, J. C. B. A T ERMOGRAFIA APLICADA AO FUTEBOL. **Revista Brasileira de Futebol (The Brazilian Journal of Soccer Science)**, v. 15, n. 5, p. 3–16, 28 fev. 2023.
- AKENHEAD, R.; NASSIS, G. P. Training Load and Player Monitoring in High-Level Football: Current Practice and Perceptions. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 11, n. 5, p. 587–593, jul. 2016.
- AKYILDIZ, Z.; YILDIZ, M.; CLEMENTE, F. M. The reliability and accuracy of Polar Team Pro GPS units. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology**, v. 236, n. 2, p. 175433712097666, 7 dez. 2020.
- ALVES, A. L. *et al.* Individual analysis of creatine kinase concentration in Brazilian elite soccer players. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 21, n. 2, p. 112–116, abr. 2015.
- AMMANN, L. *et al.* Advancing and critical appraisal of an integrative load monitoring approach in microcycles in professional soccer. **PLOS ONE**, v. 18, n. 9, p. e0286372–e0286372, 1 set. 2023.
- 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.
- 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.
- BARNES, C.; ARCHER, D. T.; HOGG, B.; BUSH, M.; BRADLEY, P. S. The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. **International journal of sports medicine**, [s. l.], v. 35, n. 13, p. 1095–1100, 2014.
- BARNES, R. B. Thermography of the Human Body. **Science**, v. 140, n. 3569, p. 870–877, 24 maio 1963.
- BOURDON, P. C. *et al.* Monitoring Athlete Training Loads: Consensus Statement. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 12, n. s2, p. S2-161S2-170, abr. 2017.
- BUCHHEIT, M.; ALLEN, A.; POON, T. K.; MODONUTTI, M.; GREGSON, W.; DI SALVO, V. Integrating different tracking systems in football: multiple camera semi-automatic system, local position measurement and GPS technologies. **Journal of sports sciences**, [s. l.], v. 32, n. 20, p. 1844–1857, 2014.
- BUSH, M.; BARNES, C.; ARCHER, D. T.; HOGG, B.; BRADLEY, P. S. Evolution of match performance parameters for various playing positions in the English Premier League. **Human movement science**, [s. l.], v. 39, p. 1–11, 2015.

CAI, F. *et al.* Application of infrared thermography in the early warning of pressure injury: A prospective observational study. **Journal of Clinical Nursing**, v. 30, n. 3-4, p. 559–571, 26 jan. 2021.

COELHO, D. B. *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, 1 jun. 2011.

CUMMINS, C. *et al.* Global Positioning Systems (GPS) and Microtechnology Sensors in Team Sports: A Systematic Review. **Sports Medicine**, v. 43, n. 10, p. 1025–1042, 28 jun. 2013.

DALEN, T. *et al.* Accelerations – a new approach to quantify physical performance decline in male elite soccer? **European Journal of Sport Science**, v. 19, n. 8, p. 1015–1023, 11 jan. 2019.

CARVALHO, G. de *et al.* Correlation between skin temperature in the lower limbs and biochemical marker, performance data, and clinical recovery scales. **PLOS ONE**, v. 16, n. 3, p. e0248653, 18 mar. 2021.

DREW, M. K.; FINCH, C. F. The Relationship Between Training Load and Injury, Illness and Soreness: A Systematic and Literature Review. **Sports Medicine**, v. 46, n. 6, p. 861–883, 28 jan. 2016.

DUARTE, W. *et al.* C-Reactive Protein and Skin Temperature of the lower limbs of Brazilian elite soccer players like load markers following three consecutive games. **Journal of Thermal Biology**, v. 105, p. 103188, 1 abr. 2022.

EBBELING, C. B.; CLARKSON, P. M. Exercise-Induced Muscle Damage and Adaptation. **Sports Medicine**, v. 7, n. 4, p. 207–234, abr. 1989.

FERNANDES, A. DE A. *et al.* Effect of a professional soccer match in skin temperature of the lower limbs: a case study. **Journal of Exercise Rehabilitation**, v. 13, n. 3, p. 330–334, 27 jun. 2017a.

FERNANDES, A. DE A. *et al.* Skin temperature changes of under-20 soccer players after two consecutive matches. **Sport Sciences for Health**, v. 13, n. 3, p. 635–643, 1 set. 2017b.

FINSTERER, J. Biomarkers of peripheral muscle fatigue during exercise. **BMC Musculoskeletal Disorders**, v. 13, n. 1, 8 nov. 2012.

FORCINA, L.; COSENTINO, M.; MUSARÒ, A. Mechanisms Regulating Muscle Regeneration: Insights into the Interrelated and Time-Dependent Phases of Tissue Healing. **Cells**, v. 9, n. 5, p. 1297, 22 maio 2020.

FREIRE, L. A. *et al.* Correlation between creatine kinase and match load in soccer: a case report. **Journal of Physical Education and Sport ® (JPES)**, v. 20, n. 3, p. 1279–1283, 2020.

GABBETT, T. J. *et al.* The athlete monitoring cycle: a practical guide to interpreting and applying training monitoring data. **British Journal of Sports Medicine**, v. 51, n. 20, p. 1451–1452, 23 jun. 2017.

GASTIN, P. B. *et al.* Deceleration, Acceleration, and Impacts Are Strong Contributors to Muscle Damage in Professional Australian Football. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 33, n. 12, p. 3374–3383, dez. 2019.

GÓMEZ-CARMONA, C. D. *et al.* Accelerometry-Based External Load Indicators in Sport: Too Many Options, Same Practical Outcome? **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 24, p. 5101, 1 jan. 2019.

GÓMEZ-CARMONA, P. *et al.* Infrared Thermography Protocol on Reducing the Incidence of Soccer Injuries. **Journal of Sport Rehabilitation**, v. 29, n. 8, p. 1222–1227, 1 nov. 2020.

HALLER, N. *et al.* Blood-Based Biomarkers for Managing Workload in Athletes: Perspectives for Research on Emerging Biomarkers. **Sports Medicine**, 21 jun. 2023.
HALSON, S. L. Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. **Sports Medicine**, v. 44, n. S2, p. 139–147, 9 set. 2014.

HARDY, J. D.; MUSCHENHEIM, C. THE RADIATION OF HEAT FROM THE HUMAN BODY. IV. THE EMISSION, REFLECTION, AND TRANSMISSION OF INFRA-RED RADIATION BY THE HUMAN SKIN. **Journal of Clinical Investigation**, v. 13, n. 5, p. 817–831, 1 set. 1934.

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.

HUGGINS, R. A. *et al.* The Validity and Reliability of Global Positioning System Units for Measuring Distance and Velocity During Linear and Team Sport Simulated Movements. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 34, n. 11, p. 3070–3077, 16 set. 2020.

IMPELLIZZERI, F. M.; MARCORA, S. M.; COUTTS, A. J. Internal and External Training Load: 15 Years On. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 14, n. 2, p. 270–273, fev. 2019.

ISPIRLIDIS, I. *et al.* Time-course of changes in inflammatory and performance responses following a soccer game. **Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine**, v. 18, n. 5, p. 423–431, 1 set. 2008.

JACKSON, A. S.; POLLOCK, M. L. Generalized equations for predicting body density of men. **British Journal of Nutrition**, v. 40, n. 3, p. 497-504, 1978.

JAVIER, A. L. *et al.* Aplicación práctica de la termografía infrarroja en el fútbol profesional. **Revista de preparación Física en el Fútbol**, n. 1, p. 0–10, 2014.

JOHNSTON, R. J. *et al.* Validity and Interunit Reliability of 10 Hz and 15 Hz GPS Units for Assessing Athlete Movement Demands. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 28, n. 6, p. 1649–1655, jun. 2014.

KONRAD, A. *et al.* Relationship between Eccentric-Exercise-Induced Loss in Muscle Function to Muscle Soreness and Tissue Hardness. **Healthcare (Basel, Switzerland)**, v. 10, n. 1, p. 96, 4 jan. 2022.

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, jan. 2009.

LIMA-ALVES, A. *et al.* The relationship between internal and external loads as a tool to monitor physical fitness status of team sport athletes: a systematic review. **Biology of Sport**, 2022.

LOW, B. *et al.* A Systematic Review of Collective Tactical Behaviours in Football Using Positional Data. **Sports Medicine**, 30 set. 2019.

MALONE, J. J. *et al.* To infinity and beyond: the use of GPS devices within the football codes. **Science and Medicine in Football**, v. 4, n. 1, p. 82–84, 17 out. 2019.

MARINS, J. C. B. *et al.* Aplicaciones de la termografía infrarroja en el deporte: Una revisión. **repositorio.uam.es**, 1 dez. 2015.

MARINS, J. C. B. *et al.* Thermographic profile of soccer players' lower limbs. **Revista Andaluza de Medicina del Deporte**, v. 7, n. 1, p. 1–6, mar. 2014.

MATA, L.; RHEA, M. Physiological evaluation post-match as implications to prevent injury in elite soccer players. **Arch. med. deporte**, p. 220–226, 2019.

MENDES, B. *et al.* Seasonal Training Load Monitoring Among Elite Level Soccer Players: Perceived Exertion and Creatine Kinase Variations Between Microcycles. **Journal of Human Kinetics**, v. 81, n. 1, p. 85–95, 28 jan. 2022.

MIGUEL, M. *et al.* Load Measures in Training/Match Monitoring in Soccer: A Systematic Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 5, p. 2721, 8 mar. 2021.

MOREIRA, D. G. *et al.* Thermographic imaging in sports and exercise medicine: A Delphi study and consensus statement on the measurement of human skin temperature. **Journal of Thermal Biology**, v. 69, p. 155–162, 1 out. 2017.

MUSARÒ, A. The Basis of Muscle Regeneration. **Advances in Biology**, v. 2014, p. 1–16, 2014.

OWEN, A. *et al.* The relationship between lower-limb strength and match-related muscle damage in elite level professional European soccer players. **Journal of Sports Sciences**, v. 33, n. 20, p. 2100–2105, 9 jul. 2015.

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

PONS, E. *et al.* A Longitudinal Exploration of Match Running Performance during a Football Match in the Spanish La Liga: A Four-Season Study. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 3, p. 1133, 28 jan. 2021.

RACINAIS, S.; COCKING, S.; PÉRIARD, J. D. Sports and environmental temperature: From warming-up to heating-up. **Temperature**, v. 4, n. 3, p. 227–257, 3 jul. 2017.

RAMIREZ-GARCIALUNA, J. L. *et al.* Infrared Thermography in Wound Care, Surgery, and Sports Medicine: A Review. **Frontiers in Physiology**, v. 13, 3 mar. 2022.

RAMPININI, E. *et al.* Accuracy of GPS Devices for Measuring High-intensity Running in Field-based Team Sports. **International Journal of Sports Medicine**, v. 36, n. 01, p. 49–53, 25 set. 2014.

RICO-GONZÁLEZ, M. *et al.* Assessing the Amount of Data per Second to Measure Tactical Variables in Team Sports. **Journal of Coaching and Sports Science**, v. 2, n. 2, p. 68–77, 3 out. 2023.

RING, E. F. J. The historical development of temperature measurement in medicine. **Infrared Physics & Technology**, v. 49, n. 3, p. 297–301, jan. 2007.

RING, E. F. J. The historical development of thermal imaging in medicine. **Rheumatology**, v. 43, n. 6, p. 800–802, 26 maio 2004.

ROMAGNOLI, M. *et al.* Changes in muscle damage, inflammation, and fatigue-related parameters in young elite soccer players after a match. **The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 56, n. 10, p. 1198–1205, 1 out. 2016.

RUSSELL, M. *et al.* Relationships between match activities and peak power output and Creatine Kinase responses to professional reserve team soccer match-play. **Human Movement Science**, v. 45, p. 96–101, fev. 2016.

SAIDI, K. *et al.* Hematology, Hormones, Inflammation, and Muscle Damage in Elite and Professional Soccer Players: A Systematic Review with Implications for Exercise. **Sports Medicine**, v. 51, n. 12, p. 2607–2627, 4 ago. 2021.

SCHOENFELD, B. J. Does Exercise-Induced Muscle Damage Play a Role in Skeletal Muscle Hypertrophy? **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 26, n. 5, p. 1441–1453, maio 2012.

SCOTT, A. *et al.* The relationship between physical match performance and 48-h post-game creatine kinase concentrations in English Premier League soccer players. **International Journal of Sports Science & Coaching**, v. 11, n. 6, p. 846–852, dez. 2016.

SCOTT, M. T. U.; SCOTT, T. J.; KELLY, V. G. The Validity and Reliability of Global Positioning Systems in Team Sport. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 30, n. 5, p. 1470–1490, maio 2016.

SILVA, A. DA; REIS, H. H. T.; MARINS, J. C. B. BASES FISIOLÓGICAS DA APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA PARA CONTROLE DE CARGA NO FUTEBOL: UMA BREVE REVISÃO. **Revista Brasileira de Futebol (The Brazilian Journal of Soccer Science)**, v. 15, n. 3, p. 03-19, 14 out. 2022.

SILVA, F. O. C. DA; MACEDO, D. V. Exercício físico, processo inflamatório e adaptação: uma visão geral. DOI: 10.5007/1980-0037.2011v13n4p320. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, v. 13, n. 4, 4 ago. 2011.

SILVA, J. R. *et al.* Acute and Residual Soccer Match-Related Fatigue: A Systematic Review and Meta-analysis. **Sports Medicine**, v. 48, n. 3, p. 539–583, 2 nov. 2017.

SIRI, W. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. *Techniques for measuring body composition*, [S. l.], v. 61, p. 223–244, 1961. STOLEN, T. *et al.* Physiology of Soccer. **Sports Medicine**, v. 35, n. 6, p. 501–536, 2005.

SPORIS, G. *et al.* Reliability and Factorial Validity of Agility Tests for Soccer Players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 24, n. 3, p. 679–686, mar. 2010.

THOMPSON, D. *et al.* Muscle Soreness and Damage Parameters after Prolonged Intermittent Shuttle-Running Following Acute Vitamin C Supplementation. **International Journal of Sports Medicine**, v. 22, n. 1, p. 68–75, jan. 2001.

THORPE, R.; SUNDERLAND, C. Muscle Damage, Endocrine, and Immune Marker Response to a Soccer Match. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 26, n. 10, p. 2783–2790, out. 2012.

VARLEY, M. C.; FAIRWEATHER, I. H.; AUGHEY, R. J. Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion. **Journal of Sports Sciences**, v. 30, n. 2, p. 121–127, jan. 2012.

VICKERY, W. M. *et al.* Accuracy and Reliability of GPS Devices for Measurement of Sports-Specific Movement Patterns Related to Cricket, Tennis, and Field-Based Team Sports. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 28, n. 6, p. 1697–1705, jun. 2014.

WEST, S. W. *et al.* More than a Metric: How Training Load is Used in Elite Sport for Athlete Management. **International Journal of Sports Medicine**, v. 42, n. 04, p. 300–306, 19 out. 2021.

WUNDERLICH, C. A. **On the Temperature in Diseases: A Manual of Medical Thermometry**. [s.l.] New Sydenham society, 1871.

ZHOU, C.; GÓMEZ, M.-Á.; LORENZO, A. The evolution of physical and technical performance parameters in the Chinese Soccer Super League. **Biology of Sport**, [s. l.], v. 37, n. 2, p. 139, 2020.

ANEXO

Termo de consentimento livre e esclarecido – TCLE

Correlação entre carga externa, creatina quinase e temperatura da pele em jogadores de futebol.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Mendonça Pimenta. Orientando: Thiago Vinicius de Almeida Santos

Prezado voluntário, o convidamos a participar da pesquisa Correlação entre carga externa, creatina quinase e temperatura da pele em jogadores de futebol. Você só precisa participar desse estudo se quiser, portanto, sua participação é voluntária e pode ser interrompida a qualquer momento, conforme a sua decisão. A sua participação exigirá uma demanda de tempo e presença nas coletas de dados. As coletas de dados e a participação no estudo consistirão nos seguintes momentos:

[1] Coletas das medidas antropométricas e composição corporal

No primeiro dia do estudo, para a caracterização dos participantes, os sujeitos serão submetidos a uma avaliação física na qual serão mensuradas massa corporal (kg), estatura (cm) e dobras cutâneas para o cálculo de densidade corporal (JACKSON; POLLOCK 1978) e do percentual de gordura (%G) (SIRI, 1961).

[2] Realização dos protocolos da Termografia Infravermelha para coletas de imagens térmicas (termogramas) dos membros inferiores

Para uma padronização da aquisição das imagens termográficas e reduzir a influência de variáveis que podem afetar o exame, foram produzidas diretrizes internacionais sobre aquisição de imagens, com foco no preparo do paciente/participante antes e durante o exame, condições da sala, preparo dos equipamentos e forma de registro das imagens (MOREIRA et al., 2017).

A aquisição das imagens termográficas será realizada por meio de um termovisor (FLIR®, T540, Estocolmo), com amplitude de medição de -20 a +120°C, precisão de 1%, sensibilidade $\leq 0,02^\circ\text{C}$, banda espectral dos infravermelhos de 7,5 μm a 13 μm , taxa de atualização de 60Hz, foco automático e resolução FULL HD. O local de aquisição das imagens se manterá em temperatura entre 20 e 22°C e a umidade do ar entre 55-65%. O equipamento será mantido a uma distância de 1,5m

do voluntário, o qual estará vestido apenas de sunga, em pé e em posição estática, por pelo menos 10 minutos para que ocorra um equilíbrio térmico antes da aquisição das imagens (MARINS et al., 2015). Serão capturados dois termogramas (visão posterior e anterior dos MMII) e as imagens serão selecionadas e visualizadas em software específico (APOLLO® versão 1.5 Brasil).

[3] Mensuração de biomarcadores (CK), por meio de coleta de amostras sanguíneas.

A concentração sérica de CK será avaliada por fotometria de reflectância a 37°C através do analisador sanguíneo SimplexTAS™@101 da ECO®. Esse aparelho será calibrado de acordo com as recomendações do manual. **Após a assepsia do dedo com álcool, uma amostra de sangue de 30 µl será coletada por punção digital e posteriormente colocada em cartuchos reagentes específicos que serão inseridos no aparelho.** Os compartimentos de cartucho são projetados para receber até quatro cartuchos de reagentes em um único procedimento. Assim o resultado da avaliação da concentração sérica de CK será demonstrado após 11 minutos da inserção dos cartuchos com o sangue no aparelho. Após o resultado, esse material será descartado em local específico.

[4] Medidas de variáveis cinemáticas (variáveis que demonstram a movimentação dos atletas, por exemplo distâncias percorridas, velocidades e acelerações atingidas) será por meio da utilização de GPS nos jogos da equipe.

Para monitoramento e quantificação das variáveis de deslocamento será utilizado um dispositivo de GPS e monitor cardíaco da marca Polar com frequência de aquisição de 10 Hz com sensor de movimento MEMS e transmissão das informações via Bluetooth. O dispositivo será acoplado em uma fita elástica que ficará na altura do peitoral do atleta. Os dispositivos utilizados nesta pesquisa serão os mesmos que vocês utilizam em suas rotinas de treinos e jogos.

Você deverá manter sua rotina diária. **As coletas dos dados ocorrerão no centro de treinamento do clube de futebol que você está vinculado. Todos os dados coletados serão armazenados somente durante o estudo, sendo descartados após os resultados.**

Durante a realização da pesquisa você está autorizado a solicitar esclarecimentos sobre os protocolos, métodos e objetivos de todas as condutas dos pesquisadores. Além disso, possíveis desconfortos como sensação calor e cansaços excessivos provenientes das atividades físicas realizadas devem ser comunicados e serão prontamente atendidas pelos pesquisadores.

Quaisquer informações sobre a pesquisa obtêm-se a partir do contato com o pesquisador, situado na Av. Antônio Carlos, 6627, Escola de Educação Física Fisioterapia e Terapia Ocupacional-EEFFTO, Belo Horizonte, MG, Brasil. CEP 31270-901. Telefones 34092329-(31)992229067, e-mail: empimenta@uol.com.br. Informações de caráter ético com o CEP: Comitê de Ética em Pesquisa, situado na Avenida Antônio Carlos, 6627, Unidade Administrativa II, 2º andar sala 2005. Campus Pampulha. Belo Horizonte, MG, Brasil, CEP:31270-901.Telefone:34094592.

RISCOS E BENEFÍCIOS

De acordo com as diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisa envolvendo seres humanos, dispostos na Resolução Nº 466, de 12 de dezembro de 2012, acima de qualquer objetivo você terá seus direitos éticos, morais, psicológicos, e físicos preservados e garantidos antes, durante e após a realização das coletas de dados. Você não será colocado em grave risco por qualquer procedimento das coletas de dados, sua integridade física será prioridade absoluta. A Termografia Infravermelha é caracterizada como um método não-invasivo e não-ionizante, assim, a aquisição das imagens térmicas oferece baixo risco a sua saúde. Para maior tranquilidade, a aquisição das imagens térmicas será realizada com a presença de um membro da comissão técnica do clube.

Para às coletas sanguíneas, **será feito uma punção no dedo dos atletas. Essa punção pode causar dor, mas é transitória.** Todos os procedimentos serão realizados por profissionais qualificados, formados e licenciados na área da saúde, sendo que todos os procedimentos serão realizados pelos mesmos profissionais especializados neste tipo de coleta. Serão respeitados rigorosamente os aspectos relacionados à biossegurança durante a obtenção das amostras sanguíneas. O termo biossegurança é entendido como o conjunto de ações voltadas para a prevenção, proteção do trabalhador, minimização de riscos inerentes às atividades de pesquisa, produção, ensino e desenvolvimento tecnológico. Os materiais serão novos e descartáveis, a fim de evitar qualquer tipo de contaminação. Além disso, os atletas estarão sujeitos à lesões provenientes da prática esportiva.

Caso na sua participação neste estudo, resultar em algum problema médico, inclusive tratamento de emergência, você receberá assistência da equipe responsável pelo estudo que será auxiliada pelo departamento médico do clube que você joga. Esse será o responsável primário para qualquer eventualidade de cunho médico, pois durante as atividades a serem realizadas uma equipe preparada do departamento médico do clube estará acompanhando todos os procedimentos. Entretanto, o estudo não dispõe de recursos para pagamentos de exames complementares ou quaisquer outras despesas médicas ou hospitalares que deverão ser cobertas por seus próprios recursos ou pelo Sistema Único de Saúde (SUS). Em caso de emergência que fuja da intervenção do departamento médico do clube, o Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU / 192) será chamado.

Você terá a liberdade em recusar, em qualquer momento e sem penalização de nenhuma ordem, a participação em uma ou mais fases do estudo, bem como retirar seu consentimento caso haja interesse.

Todos os dados coletados durante o estudo têm caráter sigiloso, não podendo ser associados a você em momento algum. Desta forma, garantimos o uso apenas científico das informações coletadas, sendo sua identidade mantida em sigilo durante

todo o processo.

Destacamos que os participantes desta pesquisa de mestrado possuem o pleno direito de recorrer por eventuais danos causados durante o processo, reservando-se o compromisso ético e legal desta pesquisa em assegurar a integridade e bem-estar dos envolvidos, incluindo a possibilidade de indenização em casos de impactos adversos.

Antes de você concordar em participar desta pesquisa e assinar este termo em duas vias, os pesquisadores deverão responder todas as suas dúvidas e, se você concordar em participar do estudo, deve ser entregue uma via deste termo para você.

Eu discuti os riscos e benefícios de minha participação no estudo com os pesquisadores responsáveis. Eu li todo o documento e tive tempo suficiente para considerar minha participação no estudo. Eu perguntei e obtive as respostas para todas as minhas dúvidas. Eu sei que posso me recusar a participar do estudo ou que posso abandoná-lo a qualquer momento, sem qualquer tipo de constrangimento. Eu recebi uma via deste documento que foi assinado em duas vias idênticas. Portanto, forneço o meu consentimento para participar dos experimentos do estudo “Correlação entre carga externa, creatina quinase e temperatura da pele em jogadores de futebol.

”.

Belo Horizonte, _____ de _____ de 20____

Voluntário CPF:



Pesquisador – Prof. Dr. Eduardo Mendonça Pimenta