



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE DESPORTOS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA

Caio de Araújo Rosa

Associação da capacidade oxidativa muscular com o desempenho de sprints repetidos em jogadores de futebol universitário e indivíduos fisicamente ativos

Florianópolis, 2026

Caio de Araújo Rosa

Associação da capacidade oxidativa muscular com o desempenho de sprints repetidos em jogadores de futebol universitário e indivíduos fisicamente ativos

Dissertação de Mestrado submetido ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Mestre em Educação Física.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Turnes

Florianópolis, SC

2026

Ficha de identificação da obra

Rosa, Caio

Associação da capacidade oxidativa muscular com o desempenho de sprints repetidos em jogadores de futebol universitário e indivíduos fisicamente ativos / Caio Rosa ; orientador, Tiago Turnes, 2026.
47 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Desportos, Programa de Pós-Graduação em Educação Física, Florianópolis, 2026.

Inclui referências.

1. Educação Física. 2. Futebol. 3. Fisiologia. 4. Sprints repetidos. 5. Performance. I. Turnes, Tiago . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Educação Física. III. Título.

Caio de Araújo Rosa

Associação da capacidade oxidativa muscular com o desempenho de sprints repetidos em jogadores de futebol universitário e indivíduos fisicamente ativos

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 24 de novembro de 2025, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Tiago Turnes, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Anderson Santiago Teixeira, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Fernando Klitsze Borszcz, Dr.

Universidade do Estado de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Educação Física.

Insira neste espaço a
assinatura digital

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a
assinatura digital

Prof. Tiago Turnes, Dr.

Orientador

RESUMO

Durante uma partida de futebol, os jogadores se deslocam intercalando diferentes intensidades e parte dessa distância é percorrida por meio de sprints. A realização de sprints subsequentes é dependente da contribuição energética de diferentes sistemas, entre elas a via aeróbia. A partir disso, a capacidade oxidativa muscular pode ser um dos parâmetros que influencia e limita o desempenho de sprints repetidos. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo geral investigar e comparar a relação entre a capacidade oxidativa muscular (COxM) dos músculos gastrocnêmio medial (GM) e vasto lateral (VL) e o desempenho em sprints repetidos em jogadores universitários de futebol (ATL) e sujeitos fisicamente ativos (FA). Participaram do estudo 21 sujeitos do sexo masculino, sendo 11 ATL (idade: 23 ± 2 anos; massa corporal: 72 ± 7 kg; estatura: 174 ± 4 cm) e 10 FA (idade: 26 ± 3 anos; massa corporal: 77 ± 6 kg; estatura: 178 ± 3 cm). A COxM do GM e VL foi avaliada por meio de protocolo de oclusões arteriais repetidas com espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS). O desempenho no teste de sprints repetidos foi calculado pelo tempo médio e o índice de fadiga. O consumo máximo de oxigênio ($\dot{V}O_{2max}$), frequência cardíaca máxima (FCmax), Limiar Ventilatório 1 (LV1), Limiar Ventilatório 2 (LV2) e Velocidade Máxima do Teste Incremental (Vmax) foram determinados por um teste incremental em esteira (velocidade inicial 8,0 km/h e incrementos de 0,5 km/h por minuto). Para a análise estatística, foram utilizados o teste ANOVA e o coeficiente de correlação de Pearson. Em todos os testes, o nível de significância adotado foi de $p < 0,05$. O grupo ATL apresentou uma constante de recuperação (tau) da COxM do VL mais rápida em comparação ao FA ($36,0 \pm 8,7$ vs. $44,9 \pm 11$ s; $p = 0,01$), além de apresentar melhor média nos sprints repetidos ($7,84 \pm 0,31$ vs. $8,12 \pm 0,30$ s, $p < 0,01$) e maiores valores de $\dot{V}O_{2max}$ relativo ($55,1 \pm 5,4$ vs. $48,4 \pm 5,6$ kg/ml/min, $p = 0,01$), VO_2 do LV1 ($p = 0,03$) e LV2 ($p = 0,02$). Não houve diferenças na COxM do GM entre ATL e FA ($31,3 \pm 6,7$ vs. $34,1 \pm 5,7$ s; $p = 0,45$). Sobre as correlações, não houve associação entre a COxM dos músculos VL ($r = -0,12$; $p = 0,59$) e GM ($r = 0,34$, $p = 0,13$) com o índice de fadiga. Além disso, não foram observadas diferenças ($p = 0,30$) no índice de fadiga entre grupos (ATL: $4,6 \pm 2,6\%$ vs FA: $5,6 \pm 1,6\%$). No entanto, a soma da COxM do GM e VL se associou com o melhor sprint ($r = -0,49$; $p = 0,02$) e a média dos sprints ($r = -0,52$; $p = 0,01$). A COxM do VL se associou significativamente com a média dos sprints ($r = 0,65$; $p < 0,01$), VO_2 do LV1 ($r = -0,58$; $p < 0,01$), VO_2 do LV2 ($r = -0,63$; $p < 0,01$), melhor sprint ($r = 0,48$; $p = 0,03$) e Vmax do teste incremental ($r = -0,47$; $p = 0,03$). A COxM do GM apresentou associação apenas com o Vmax ($r = -0,51$; $p = 0,02$) e com a velocidade do LV2 ($r = -0,43$; $p = 0,04$). Conclui-se que a COxM do VL e GM não foi correlacionada com o índice de fadiga do teste de sprints repetidos, o que parece indicar que a COxM não é o principal fator no desempenho em teste de sprints repetidos. Contudo, a COxM do VL foi significativamente mais rápida para o grupo ATL, além de se associar a um número maior de parâmetros fisiológicos e de performance, podendo sugerir que este músculo possa ser mais determinante metabolicamente para a aptidão aeróbia do que o GM.

Palavras-chave: NIRS; Aptidão aeróbia; Recuperação muscular; Esporte intermitente.

ABSTRACT

Soccer is a sport characterized by intermittent, high-intensity actions, where the ability to perform subsequent sprints relies on energy contribution from various systems, including the aerobic pathway. Thus, Muscle Oxidative Capacity (COxM) may influence and limit repeated sprint performance. This study aimed to investigate and compare the relationship between COxM in the Medial Gastrocnemius (GM) and Vastus Lateralis (VL) and repeated sprint performance in collegiate soccer players (ATL) and physically active subjects (FA). Twenty-one male subjects participated, 11 ATL: Age: 23 ± 2 years; weight: 72 ± 7 kg; height: 174 ± 4 cm) and 10 FA (age: 26 ± 3 years; weight: 77 ± 6 kg; height: 178 ± 3 cm). COxM was assessed via a repeated arterial occlusion protocol using NIRS. Performance was measured by mean time and fatigue index. Maximal Oxygen Consumption ($\dot{V}O_{2max}$), Maximal Heart Rate (FCmax), Ventilatory Thresholds (LV1; LV2), and Maximal Velocity (Vmax) were determined by an incremental treadmill test (started at 8.0 km/h, with increments of 0.5 km/h per minute). ANOVA and Pearson correlation were used for analysis ($p < 0.05$). No association was found between COxM of the VL ($r = -0.12$; $p = 0.59$) or GM ($r = 0.34$; $p = 0.13$) and the fatigue index. The index itself did not differ between groups (ATL: 4.6 ± 2.6 % vs FA 5.6 ± 1.6 %; $p = 0.30$). However, ATL presented a significantly faster COxM recovery time in the VL compared to FA (36.0 ± 8.7 s vs 44.9 ± 11 s; $p = 0.01$), but no difference was found in GM COxM (31.3 ± 6.7 s vs 34.1 ± 5.7 s; $p = 0.45$). ATL also showed better mean repeated sprint time (7.84 ± 0.31 s vs 8.12 ± 0.30 s; $p < 0.01$) and higher relative $\dot{V}O_{2max}$ (55.1 ± 5.4 kg/ml/min vs 48.4 ± 5.6 kg/ml/min; $p = 0.01$). Regarding correlations, the COxM of the VL was significantly associated with mean sprints ($r = 0.65$; $p < 0.01$), VO₂ at LV1 ($r = -0.58$; $p < 0.01$), VO₂ at LV2 ($r = -0.63$; $p < 0.01$), best sprint ($r = 0.48$; $p = 0.03$), and Vmax ($r = -0.47$; $p = 0.03$). The GM COxM correlated only with Vmax ($r = -0.51$; $p = 0.02$) and VO₂ at LV2 ($r = -0.43$; $p = 0.04$). The sum of COxM (GM + VL) correlated significantly with both best sprint ($r = -0.49$; $p = 0.02$) and mean sprints ($r = -0.52$; $p = 0.01$). COxM of both muscles was not correlated with the fatigue index, suggesting it may not be the primary factor determining fatigue resistance in short-duration repeated sprints. However, the VL COxM was superior in the ATL group and associated with a wider range of performance and physiological parameters than the GM, suggesting that the VL COxM may be a more metabolically determinant indicator for aerobic fitness in running.

Keywords: NIRS; Aerobic Capacity; Soccer; Metabolic pathways.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cinética do consumo de oxigênio muscular de um indivíduo fisicamente ativo (direita) e de um jogador de futebol universitário (esquerda).....	30
Figura 2. Análise da concordância entre a capacidade oxidativa muscular do Gastrocnêmio Medial com o desempenho nos testes e índices fisiológicos.....	31
Figura 3. Análise da concordância da capacidade oxidativa muscular do Vasto Lateral com o desempenho nos testes e índices fisiológicos.....	32
Figura 4. Análise da concordância da capacidade oxidativa muscular somada do Gastrocnêmio Medial e Vasto Lateral com o desempenho nos testes e índices fisiológicos...	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Capacidade oxidativa muscular, sprints e teste incremental em atletas (ATL) e indivíduos fisicamente ativos (FA).....	29
---	----

LISTA DE ABREVIACÕES

- CSR** – Capacidade de Realizar Sprints Repetidos
- COxM** – Capacidade Oxidativa Muscular
- VO₂** – Consumo de Oxigênio
- VO₂max** – Consumo Máximo de Oxigênio
- FCmax** – Frequência Cardíaca Máxima
- Vmax** – Velocidade Maxima do Teste Incremental
- NIRS** – Espectroscopia do infravermelho próximo
- mVO₂** – Cinética do consumo de oxigênio muscular
- GM** – Gastrocnemio Medial
- VL** – Vasto Lateral
- MMSS** – Musculatura dos Membros Superiores
- MMII** – Musculatura dos Membros Inferiores
- ATL** – Grupo de jogadores de futebol universitário
- FA** – Grupo de individuos fisicamente ativos
- LV1** – Limiar Ventilatório 1
- LV2** – Limiar Ventilatório 2
- HbO₂** – Hemoglobina Oxigenada
- HHb** – Hemoglobina Desoxigenada
- tHb** – Hemoglobina Total
- HIIT** – Treinamento intervalado de alta intensidade
- PCr** – Fosfocreatina
- T-CAR** – Teste de Carminnati
- MVA** – Máxima Velocidade Aeróbia
- PDFC** – Ponto de deflexão da frequência Cardíaca
- PV** – Pico de Velocidade
- vVO₂max** – Velocidade do VO₂max
- DP** – Desvio Padrão
- Tau** – Tempo de Recuperação da capacidade oxidativa muscular

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1. PROBLEMA E JUSTIFICATIVA.....	11
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 OBJETIVO GERAL	14
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
2. REFERÊNCIAL TEÓRICO	15
2.1 CAPACIDADE OXIDATIVA MUSCULAR	15
2.2 SPRINTS E DEMANDA FISIOLÓGICA NO FUTEBOL.....	17
2.3 TESTE INCREMENTAL	19
3 METODOLOGIA	23
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	23
3.2 PARTICIPANTES	23
3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	23
3.4 TESTES E PROCEDIMENTOS	24
3.4.1 Teste Incremental em Esteira.....	24
3.4.2 Sprint de 30 m e Teste de Sprint Repetidos.....	25
3.4.3 Análise dos dados NIRS	25
3.4.4 Calibração Fisiológica	26
3.4.5 Capacidade Oxidativa Muscular	26
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	27
4. RESULTADOS	28
4.1 COMPARAÇÃO ENTRE GRUPOS.....	28
4.2 ASSOCIAÇÕES	30
5. DISCUSSÃO	34
6. CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMA E JUSTIFICATIVA

O futebol é um esporte de alta demanda física, em que a capacidade de realizar ações de alta intensidade, como os sprints, é fundamental para o desempenho e o sucesso durante uma partida (HAUGEN et al., 2014; ANDRZEJEWSKI et al., 2014). Esses esforços são caracterizados por corridas de curta duração (<10 segundos) a uma velocidade máxima ou muito próxima do máximo (GIRARD, MENDEZ-VILLANUEVA e BISHOP, 2011; RAMPININI et al., 2009). Os sprints exercem um papel crucial na execução de ações decisivas, como superar adversários, criar oportunidades de gol e contribuir para o sucesso da equipe (ALTMANN et al., 2023; HAUGEN et al., 2014; ANDRZEJEWSKI et al., 2014).

Ao longo de uma partida de futebol, os jogadores realizam diversos sprints de curta duração intercalados com esforços submáximos, como caminhada e trote (ALTMANN et al., 2023; HAUGEN et al., 2014). A partir disso, a capacidade de realizar sprints repetidos (CSR) é um fator importante e tem sido associada com o nível de performance dos jogadores, na qual, jogadores profissionais parecem possuir uma melhor CSR quando comparado a amadores (CAN 2018; RAMPININI et al., 2009). A CSR é definida como a capacidade de manter o menor decréscimo da velocidade de sprints possível, separados por curtos períodos de recuperação (GIRARD, MENDEZ-VILLANUEVA e BISHOP, 2011; CAN, 2018).

A análise dos sistemas energéticos envolvidos nos sprints repetidos revela uma transição gradual do metabolismo anaeróbio para o aeróbio. Embora um único sprint seja predominantemente anaeróbio (degradação de fosfocreatina [PCr] e glicólise) (BISHOP, GIRARD e MENDEZ-VILLANUEVA, 2011; RAMPININI et al., 2009), os sprints subsequentes mostram um aumento significativo na contribuição do sistema aeróbio. Isso ocorre porque os curtos períodos de recuperação não são suficientes para restaurar totalmente os níveis metabólicos basais e o consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) permanece elevado, aumentando a contribuição aeróbia para a ressíntese de ATP (GHARBI et al., 2015). Essa dependência da via aeróbia na recuperação levou diversos autores a propor uma ligação entre a aptidão aeróbia e a resistência à fadiga durante os sprints repetidos (GHARBI et al., 2015; GIRARD, MENDEZ-VILLANUEVA e BISHOP, 2011; KAPLAN, 2010; GLAISTER et al., 2005).

Nesse contexto metabólico, a capacidade oxidativa muscular (COxM) pode emergir como um fator contribuinte na regulação metabólica durante os sprints repetidos. A COxM se define como a capacidade do tecido muscular de utilizar o oxigênio de forma eficiente e sustentável durante as atividades aeróbias (GUZMAN et al., 2020; HAMAOKA e MCCULLY,

2019; GIRARD, MENDEZ-VILLANUEVA e BISHOP, 2011). Dessa forma, representa a capacidade do músculo de extrair e consumir oxigênio na produção de energia por meio do metabolismo oxidativo (BUCHHEIT et al., 2011). Conseqüentemente, uma boa COxM minimiza perturbações na homeostase celular durante o exercício por meio da capacidade da célula em atender a produção de ATP com sua demanda (PERRY e HAWLEY, 2018).

Para mensurar a capacidade oxidativa muscular de forma não invasiva, a espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS), associada a um protocolo de oclusões arteriais repetidas, é uma metodologia amplamente utilizada (BEEVER et al., 2020; MCCULLY et al., 2024; MEYER, MISSAO e MCCULLY, 2021; BROWN et al., 2022; ADAMI e ROSSITER, 2018b; DE AGUIAR et al., 2020). Essa técnica pode ser avaliada por meio da cinética do consumo de oxigênio muscular ($m\dot{V}O_2$) por meio das mudanças na oxigenação da hemoglobina e mioglobina. Estudos têm demonstrado que uma $m\dot{V}O_2$ mais rápida pode estar associada a um melhor desempenho em sprints repetidos (UFLAND, AHMAIDI e BUCHHEIT, 2012). Além disso, a $m\dot{V}O_2$ após corridas de alta intensidade é mais lenta (BUCHHEIT et al., 2011), o que pode reforçar a importância de uma recuperação mais rápida na capacidade de realizar sprints repetidos.

Complementando, estudos têm demonstrado que uma maior COxM está associada a uma melhor eficiência aeróbia, refletida em variáveis como o consumo máximo de oxigênio ($\dot{V}O_{2max}$) (TRIPP et al., 2024, BEEVER et al., 2020; MEYER, MISSAO e MCCULLY, 2021; BRIZENDINE et al., 2012), além de estar associada ao nível de treinamento (MEYER, MISSAO e MCCULLY, 2021; MONTE et al., 2020; BRIZENDINE et al., 2012). O estudo de Brizendine et al. (2012) demonstrou que atletas de endurance exibiram uma cinética de recuperação do $\dot{V}O_2$ mais rápida, (cerca de 73%) em comparação com indivíduos sedentários, isto é, uma melhor COxM. Ademais, a taxa de reoxigenação muscular após o exercício tem sido associada ao desempenho de sprints repetidos. Billaut e Buchheit (2013) sugeriram uma melhora na taxa de reoxigenação muscular e no desempenho de sprints após um período de treinamento. De forma complementar, Jones e Cooper (2014) demonstraram que a taxa de reoxigenação muscular de jogadores de rúgbi de elite aumentou após o treinamento, indicando melhorias na extração de oxigênio muscular que podem influenciar positivamente o desempenho em sprints repetidos. Por fim, Vasquez-Bonilla et al. (2022) concluíram que parâmetros de oxigenação muscular medidos por meio do NIRS também podem estar diretamente associados à capacidade de trabalho anaeróbio em atletas.

Porém, as análises realizadas com o NIRS são limitadas ao local de posicionamento do aparelho, mais especificamente, no músculo investigado. Neste sentido, a literatura ainda

debate a contribuição e a ativação de músculos específicos durante o movimento de corrida e sprints, onde os músculos gastrocnêmio medial (GM) e vasto lateral (VL) parecem ser os músculos mais pesquisados e investigados (MCCULLY et al., 2024; MEYER, MISSAO e MCCULLY, 2021; MONTE et al., 2020; PANDY et al., 2021). Recentemente McCully et al., (2024), validaram a metodologia de mensuração da capacidade oxidativa muscular em um único músculo (vasto lateral) durante exercícios de corpo inteiro, utilizando oclusões arteriais e NIRS. O estudo demonstrou que este método possui boa reprodutibilidade. Ademais, a pesquisa de Meyer, Missao e McCully (2021) buscou aprofundar esse tema ao comparar a capacidade oxidativa em quatro músculos distintos, sendo dois músculos do membro superior (MMSS): bíceps braquial e flexor do punho, e dois músculos do membro inferior (MMII): GM e VL, em dois grupos de atletas e um grupo controle. O estudo demonstrou que a capacidade oxidativa dos músculos do membro inferior foi superior à dos músculos do membro superior em todos os sujeitos, no entanto não foi encontrada diferença significativa entre os valores de COxM do VL e do GM. Por outro lado, o estudo de Beever et al. (2020) também utilizou medições da COxM com NIRS em ambos os músculos VL e GM e encontrou que a COxM do VL se correlacionou significativamente com diversos índices de aptidão aeróbia, enquanto a COxM do GM não apresentou correlação com nenhuma das variáveis.

Dada a incerteza sobre a diferença na ativação e na COxM do VL e do GM, a forma como ambos influenciam o desempenho em exercícios de alta intensidade ainda não está totalmente compreendida na literatura. Essa lacuna justifica a necessidade de pesquisas que investiguem e comparem a contribuição e a associação desses músculos na performance. A partir disso, este estudo buscou verificar a relação entre a COxM dos músculos GM e VL e a capacidade de realizar sprints repetidos em jogadores universitários de futebol e indivíduos fisicamente ativos. Hipotetiza-se que a COxM estará positivamente associada ao desempenho de sprints repetidos e que o grupo de atletas apresentará uma capacidade oxidativa superior em relação ao grupo de indivíduos ativos, refletindo-se em um melhor desempenho. Ao identificar possíveis associações entre esses parâmetros, espera-se contribuir para um entendimento mais profundo sobre a potencial importância da COxM para o desempenho de sprints repetidos, bem como para o desenvolvimento de estratégias de treinamento mais eficazes e personalizadas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Determinar a capacidade oxidativa dos músculos vasto lateral e gastrocnêmio medial e correlacionar essas medidas com o desempenho em sprints repetidos em jogadores de futebol universitário e indivíduos fisicamente ativos.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar a capacidade oxidativa muscular do vasto lateral e do gastrocnêmio medial entre os grupos de atletas e indivíduos ativos.
- Correlacionar a capacidade oxidativa muscular dos músculos vasto lateral e gastrocnêmio medial com o desempenho em sprints repetidos (melhor sprint, média de sprints e índice de fadiga).
- Comparar o desempenho em sprints repetidos (melhor sprint, média de sprints e índice de fadiga) entre os grupos de atletas e não atletas.
- Correlacionar a capacidade oxidativa muscular com o $\dot{V}O_2\text{max}$, o pico de velocidade e os Limiares Ventilatórios 1 e 2.
- Comparar a aptidão aeróbia ($\dot{V}O_2\text{max}$ e limiares ventilatórios) entre os grupos de atletas e não atletas.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 CAPACIDADE OXIDATIVA MUSCULAR

A capacidade oxidativa muscular (COxM) é um componente fundamental para melhoria da saúde e do desempenho físico (PERRY e HAWLEY, 2018; HOOD et al., 2011; HOLLOSZY, 1967). A capacidade oxidativa refere-se à eficiência das fibras musculares em utilizar o oxigênio para produzir energia, desempenhando um papel fundamental na manutenção do desempenho físico durante atividades prolongadas e intensas. O aumento do volume e da função mitocondrial possibilitam ganhos na COxM (GRANATA et al., 2018; HOOD et al., 2011; PERRY e HAWLEY, 2018).

Porém, a avaliação da COxM não é de fácil acesso. Historicamente, a avaliação destas adaptações envolvem procedimentos invasivos, como biópsias do tecido muscular (GRANATA et al., 2018; PERRY e HAWLEY, 2018). Com o desenvolvimento tecnológico, abordagens *in vivo*, como a espectroscopia por ressonância magnética (P-MRS), surgiram e possibilitaram a avaliação da capacidade oxidativa muscular, em que a mensuração da taxa de recuperação da fosfocreatina (PCr), após o exercício vem sendo a medida mais frequentemente utilizada para avaliar a COxM (CHANCE et al., 2006). Entretanto, apesar deste procedimento representar o padrão ouro para avaliação *in vivo* da COxM, a P-MRS possui alto custo, requer equipamento especializado e possui disponibilidade limitada.

Nos últimos anos, a avaliação *in vivo* da COxM tem sido realizada por espectroscopia por infravermelho próximo (ADAMI et al., 2017; MOTOBE et al., 2004; RYAN et al., 2012). A espectroscopia do infravermelho próximo (NIRS) é uma técnica não invasiva que se baseia na absorção e na dispersão da luz próxima ao infravermelho pelos tecidos (BOUSHEL et al., 2001). Inicialmente, o uso do NIRS foi direcionado principalmente para aplicações clínicas (MANCINI, 1997), nas quais foi utilizado em pacientes com disfunções cardíacas que possuíam fadiga constante, um sintoma comum que geralmente é atribuído à falta de perfusão adequada no músculo esquelético durante o repouso e o exercício, resultando em isquemias (WILSON et al., 1984). As técnicas tradicionalmente usadas para medir a saturação muscular nessa população, como o uso de cateter, são invasivas e requerem habilidades técnicas complexas (WILSON, MARTIN et al., 1984). Nesse contexto, o NIRS é utilizado como uma ferramenta para monitorar a condição clínica dos pacientes e avaliar a resposta a diferentes terapias

(WILSON et al., 1989).

No entanto, nas últimas décadas, houve uma ampliação do seu uso no contexto esportivo (GRASSI, QUARESIMA et al., 1999; SNYDER E PARMENTER, 2009; BROCHERIE, MILLET e GIRARD, 2015; BUCHEITT et al., 2011). Um dos principais achados da literatura é a associação entre as medições realizadas pelo NIRS, como a COxM, e o desempenho esportivo. O NIRS realiza tal mensuração por meio da análise da hemoglobina presente no sangue, molécula responsável por transportar oxigênio dos pulmões para os tecidos (HSIA, 1998). A hemoglobina possui diferentes formas, podendo ser hemoglobina oxigenada (HbO₂) ou hemoglobina desoxigenada (HHb) (RUSCIANO, 2010). Essas duas formas de hemoglobina têm espectros de absorção distintos para a luz infravermelha próxima, na qual a hemoglobina oxigenada absorve mais luz infravermelha do que a hemoglobina desoxigenada, em certos comprimentos de onda, fazendo possível a detecção de ambas (HbO₂ e HHb) por meio da espectroscopia do infravermelho próximo (RUSCIANO, 2010).

No aparelho NIRS, os diodos emissores de luz são usados como fonte de luminosidade, emitindo luz infravermelha em direção ao tecido muscular. Do outro lado, são posicionados os sensores de luz, utilizados para medir a intensidade da luz que emerge após passar pelo tecido. Quando a luz infravermelha próxima é emitida, ela atravessa a pele e os tecidos seguintes, penetrando o tecido muscular, onde encontra vasos sanguíneos contendo HbO₂ e HHb que são capturados pelo NIRS por meio da intensidade da luz transmitida em vários comprimentos de onda (BOUSHEL et al., 2001; BROCHERIE, MILLET e GIRARD, 2015; CELIE et al., 2012). Ao comparar a absorção da luz infravermelha próxima em comprimentos de onda específicos, o dispositivo pode calcular a concentração de HbO₂ e HHb no tecido. O estado de oxigenação do tecido muscular pode ser calculado como a proporção de hemoglobina oxigenada total (HbO₂ + HHb = tHb). Com base nessa análise, é possível estimar a concentração de HbO₂ e HHb, fornecendo informações sobre a oxigenação muscular em tempo real (BUCHEITT et al., 2011).

Porém, para mensuração da capacidade oxidativa muscular e não apenas da observação simultânea da HHb, HbO₂ e tHb durante o exercício, é necessária a realização de diversas oclusões arteriais/venosas que permitem ao pesquisador avaliar a taxa de consumo de oxigênio no músculo selecionado para análise (ADAMI e ROSSITER, 2011). Isso porque, durante o exercício ou em outras atividades que exigem maior suprimento de oxigênio para os músculos, o sistema circulatório fornece sangue oxigenado aos tecidos. Ao restringir temporariamente o fluxo sanguíneo para o músculo escolhido, usando oclusões, o pesquisador cria um ambiente controlado para estudar a capacidade oxidativa do músculo. A análise é feita a partir da taxa de

recuperação de oxigênio até o retorno aos níveis basais (mVO_2), calculada após a liberação da oclusão e a volta da circulação sanguínea ao musculo analisado (POSSAMAI et al., 2023). Isso é particularmente relevante para avaliar a capacidade da mitocôndria de recuperação e utilização do oxigênio, além da produção de energia aeróbia durante atividades de alta intensidade.

Desta forma, além do aparelho NIRS, que mede a taxa de HHb, HbO₂ e tHb de maneira simultânea, é necessário realizar oclusões arteriais para se medir a COxM de cada indivíduo. Para isso, diversos procedimentos de oclusões com objetivo de mensurar a capacidade oxidativa muscular foram propostos (ADAMI e ROSSITER, 2011; POSSAMAI et al., 2023). Nesta abordagem, movimentos uniarticulares de breve duração, cerca de 15 segundos, vem sendo utilizados com o objetivo de atingir a ativação máxima das enzimas oxidativas sem limitar a disponibilidade de oxigênio (ADAMI et al., 2017; BEEVER et al 2020; GUZMAN et al., 2020; LAGERWAARD et al., 2019, 2020). Derivada desta técnica, a COxM medida *in vivo* e *ex vivo* apresentou melhoras com o treinamento em indivíduos saudáveis (BELLINGER et al., 2020; GRANATA et al., 2018; RYAN et al., 2013), tendo correlação com os índices fisiológicos aeróbios e identificada como um dos determinantes do desempenho de *endurance* (BATTERSON et al., 2020; JACOBS et al., 2011). Diante do exposto, esta pesquisa utilizará o procedimento proposto por McCully e Hamaoka (2000) e modificado por Adami et al. (2017), que será realizado para determinar a COxM dos musculos gastrocnêmio medial e vasto lateral em jogadores de futebol universitarios e indivíduos ativos..

2.2 SPRINTS E DEMANDA FISIOLÓGICA NO FUTEBOL

Durante uma partida, a demanda fisiológica imposta pelos sprints não se limita apenas aos músculos de membros inferiores. A capacidade cardiovascular e a eficiência do sistema respiratório também desempenham um papel fundamental na capacidade de um jogador de realizar e recuperar-se de sprints subsequentes (REILLY et al., 2000). Jogadores com uma maior capacidade aeróbia são capazes de manter uma frequência cardíaca e uma ventilação pulmonar mais estáveis, o que contribui para uma melhor oxigenação muscular e, conseqüentemente, uma recuperação mais rápida (BANGSBO, 1994).

A frequência e a intensidade dos sprints também têm implicações importantes para o treinamento dos jogadores de futebol. Programas de treinamento que incluem exercícios de alta intensidade, como sprints repetidos e treinamento intervalado de alta intensidade (HIIT), são eficazes para melhorar a capacidade anaeróbia e a capacidade de realizar sprints repetidos (IAIA

et al., 2009). Além disso, a inclusão de exercícios que aumentam a capacidade oxidativa muscular, como o treinamento aeróbio, também é benéfica para a melhoria do desempenho em sprints repetidos (HELGERUD et al., 2001).

Em relação a demanda física durante uma partida, o aspecto posicional parece interferir de maneira direta (ANDRZEJEWSKI et al., 2014; VIGNE et al., 2010; STØLEN et al., 2005). Diversos estudos tem apontado que os Defensores (DF) e Meio Campistas (MC) percorrem um número e uma distância em sprints menor quando comparados aos Atacantes (ATA), Meio Campistas Externos (MCE) e Laterais (LAT) (ALTMANN et al., 2023; ANDRZEJEWSKI et al., 2014; VIGNE et al., 2010). Apesar de percorrer uma distância em sprint menor que outras posições, os MC parecem percorrer uma maior distância total do que outras posições, fato que pode estar associado a demanda tanto de ataque quanto de defesa que essa posição impõe (ANDRZEJEWSKI et al., 2014). Já os ATA percorrem a menor distância total quando comparado as demais posições (VIGNE et al., 2010; ANDRZEJEWSKI et al., 2014), porém percorrem a maior distância caminhando e um maior número e distância em sprints, assim como um maior percentual da distância total realizado por meio de sprints (ANDRZEJEWSKI et al., 2014). Essa disparidade no número e distância percorrida em sprints entre as diferentes posições destaca a complexidade e a diversidade dos papéis desempenhados por cada jogador dentro da dinâmica do jogo.

As adaptações musculares também possuem papel ativo na capacidade de realizar sprints repetidos. Os músculos esqueléticos são compostos por diferentes tipos de fibras musculares, cada uma com características que afetam o desempenho durante atividades físicas específicas, como os sprints repetidos em uma partida de futebol. As principais fibras musculares são as do tipo I (oxidativas lentas), tipo IIa (oxidativas-glicolíticas rápidas) e tipo IIx (glicolíticas rápidas), cada uma com habilidades distintas que influenciam a capacidade de realizar sprints repetidos (QAISAR, BHASKARAN e VAN REMMEN, 2016).

As fibras musculares do tipo I são caracterizadas por sua alta capacidade oxidativa, resistência à fadiga e contração lenta. Essas fibras têm grande quantidade de mitocôndrias, capilares e mioglobina, tornando-as ideais para atividades de longa duração, como corrida contínua de baixa a moderada intensidade (QAISAR, BHASKARAN e VAN REMMEN, 2016). No contexto do futebol, essas fibras são ativadas durante os períodos de recuperação ativa e nos deslocamentos de baixa intensidade (METAXAS, 2019). As fibras do tipo IIa apresentam uma combinação de características oxidativas e glicolíticas, permitindo uma contração mais rápida e uma resistência intermediária à fadiga (QAISAR, BHASKARAN e VAN REMMEN, 2016). Durante uma partida de futebol, essas fibras são cruciais, pois

oferecem um equilíbrio entre a produção de força e a resistência à fadiga, sendo ativadas tanto nos momentos de alta intensidade quanto nos períodos de recuperação ativa (METAXAS, 2019). Por fim, as fibras do tipo IIX são especializadas em contração extremamente rápida e alta produção de força, com pouca capacidade oxidativa e alta susceptibilidade à fadiga. Essas fibras são predominantes durante os sprints explosivos, mudanças rápidas de direção e ações de alta potência, como arrancadas e saltos.

A capacidade de realizar sprints repetidos também é dependente dos sistemas energéticos anaeróbio-alático e lático (GIRARD, MENDEZ-VILLANUEVA e BISHOP, 2011). O sistema anaeróbio-alático, que utiliza a fosfocreatina (PCr) armazenada nos músculos, fornece energia rapidamente para os primeiros segundos de um sprint, permitindo a ressíntese imediata de ATP (HARGREAVES e LAWRENCE, 2020). No entanto, as reservas de PCr são limitadas e se esgotam rapidamente, exigindo uma recuperação eficiente para sustentar esforços repetidos (PRETORIUS, ENGELBRECHT e TERBLANCHE, 2024). Durante os períodos de recuperação, a ressíntese de PCr é facilitada pela capacidade aeróbia do jogador, que oxida substratos energéticos para recompor os estoques de PCr. Já o sistema anaeróbio-lático intensifica sua ação quando os sprints são realizados com intervalos curtos de recuperação, aumentando a produção de lactato (GHARBI et al., 2014).

Como dito anteriormente, o sistema aeróbio tem fundamental papel na realização de sprints repetidos, logo, sendo encontrada uma associação entre a capacidade oxidativa muscular e o desempenho em sprints repetidos no presente estudo, possivelmente o treinamento para a melhora da capacidade oxidativa muscular também pode ser um treinamento válido para melhorar a CSR. A integração dessas abordagens de treinamento é fundamental para desenvolver jogadores de futebol capazes de manter um alto nível de desempenho em sprints repetidos durante toda uma partida.

2.3 TESTE INCREMENTAL

O teste incremental máximo é um procedimento que consiste de um aumento progressivo da taxa de trabalho (carga/velocidade), podendo conter estágios curtos e padronizados que vão progredindo até que o indivíduo entre em exaustão voluntária (MURIAS, POGLIAGHI e PATERSON, 2018; POSSAMAI et al, 2020; WEST et al. 2016). É possível realizar adaptações na estrutura do teste incremental, como modificar a intensidade inicial, a duração dos estágios, a magnitude dos incrementos e o local onde pode ser realizado

(BENTLEY, NEWELL et al., 2007; BRADY, ROANTREE e EGAN, 2024). Na literatura, os testes incrementais são métodos amplamente utilizados para avaliar a capacidade física dos atletas, tanto em ambientes de laboratório quanto em campo (BRADY, ROANTREE e EGAN, 2024; CARMINATTI et al., 2013). Cada abordagem apresenta vantagens e desvantagens, dependendo das necessidades específicas da avaliação.

Os testes incrementais de laboratório tem como principais características sua precisão e controle (BENTLEY, NEWELL E BISHOP, 2007; BRADY, ROANTREE e EGAN, 2024). Esses testes permitem a medição de variáveis fisiológicas com alta exatidão, incluindo o $\dot{V}O_2\text{max}$ e a frequência cardíaca máximo (FCmax). Isso porque a utilização de equipamentos sofisticados possibilita a coleta de informações detalhadas sobre o desempenho dos atletas.

No entanto, o ambiente laboratorial pode não replicar as condições específicas dos esportes praticados em campo, o que pode limitar a aplicabilidade dos resultados.

Por outro lado, os testes incrementais de campo oferecem vantagens distintas. Esses testes são altamente relevantes para os esportes específicos, pois replicam as condições reais de jogo, incluindo mudanças de direção e variações de intensidade (MOHORIC et al., 2022; DI MICHELE et al., 2009; GIRARD et al., 2006). Além disso, são mais econômicos e não requerem equipamentos sofisticados, tornando-os acessíveis para um maior número de equipes e atletas. A possibilidade de aplicação simultânea a vários atletas facilita o monitoramento de equipes inteiras, tornando o processo mais eficiente (MOHORIC et al., 2022). No entanto, esses testes também apresentam desvantagens, como o menor controle das condições ambientais, que podem variar significativamente (e.g. clima, terreno, vento) e afetar os resultados. A precisão dos dados obtidos é geralmente menor em comparação com os testes de laboratório.

No futebol, testes incrementais de campo são utilizados há diversas décadas para avaliação e prescrição de treinamentos esportivos (BANGSBO, IAIA e KRUSTRUP, 2008). Eles oferecem uma alternativa prática e de baixo custo aos testes laboratoriais, permitindo a coleta de dados importantes para o monitoramento da performance e a avaliação da efetividade das sessões de treinamento. Os testes incrementais de campo surgiram como uma resposta à necessidade de métodos práticos, acessíveis e aplicáveis diretamente no ambiente de treino dos atletas. Na década de 1980, houve um movimento crescente para desenvolver métodos de avaliação que pudessem ser utilizados no próprio campo de treinamento, levando em consideração as especificidades e demandas de diferentes esportes (BANGSBO e LINDQUIST, 1992). O objetivo era criar testes que replicassem as condições de competição e fornecessem dados relevantes para a prescrição e monitoramento do treinamento. Um dos primeiros e mais influentes testes de campo foi o Yo-Yo Intermittent Recovery Test, desenvolvido por Jens

Bangsbo na década de 1990 (BANGSBO e LINDQUIST, 1992). Este teste foi projetado para medir a capacidade de um atleta realizar exercícios intensos repetidamente com curtos períodos de recuperação, refletindo as demandas dos esportes coletivos. O Yo-Yo Test rapidamente ganhou popularidade devido à sua simplicidade, custo reduzido e a capacidade de fornecer dados importantes sobre a capacidade aeróbia e a recuperação dos atletas.

Desde então, outros testes incrementais de campo foram desenvolvidos, cada um com características específicas para atender diferentes necessidades esportivas. Entre eles, destaca-se o Teste de Carminatti (T-CAR). O T-CAR, introduzido por Carminatti et al. em 2004, foi especificamente criado para o futebol. Este teste incorpora acelerações, desacelerações e mudanças de direção, elementos comuns no futebol, o que o torna altamente reprodutível e relevante para a avaliação da aptidão física dos jogadores. O T-CAR consiste de um teste incremental vai e vem, com 6 segundos de ida, 6 segundos de volta e 6 segundos de descanso entre repetições. É iniciado a uma velocidade de 9 km/h, com incrementos de 0,6 km/h a cada estágio de 90 segundos até a exaustão voluntária. O principal índice do T-CAR é o pico de velocidade (PV), que é a maior velocidade atingida no final do teste. Este valor pode ser utilizado para determinar a máxima velocidade aeróbia (MVA), ponto de deflexão da frequência cardíaca (PDFC) e a frequência cardíaca máxima (FCmax), variáveis cruciais para a avaliação e prescrição do treinamento intervalado.

Estudos como o de De Lucas et al. (2016) demonstraram que o desempenho máximo no T-CAR, representado pelo PV, pode ser uma alternativa viável para estimar o $\dot{V}O_2\text{max}$ em atletas de futebol e futsal. Isso confirma a utilidade do T-CAR na avaliação de esportes coletivos sem a necessidade de testes laboratoriais. Carminatti et al. (2021) exploraram a validade do T-CAR para determinar a máxima fase estável de lactato (MFEL). A análise mostrou que a velocidade de corrida intermitente relacionada à MFEL pode ser estimada com precisão razoável utilizando diferentes parâmetros derivados do T-CAR em jogadores de futebol. Além disso, vários estudos têm validado a eficácia do T-CAR. Da Silva et al. (2011) avaliaram a validade e a confiabilidade do teste comparando as medidas de campo com as obtidas em laboratório. Os resultados indicaram uma forte correlação entre o PV do T-CAR e a velocidade associada ao $\dot{V}O_2\text{max}$ ($v\dot{V}O_2\text{max}$), além de uma correlação moderada entre o PV do T-CAR e o tempo de sprint mais rápido dos atletas. Outro estudo de Da Silva et al. (2016) com jovens jogadores de futebol mostrou que o PV do T-CAR está associado a atividades de alta intensidade, sprint e distância total percorrida durante uma partida. Isso reforça a aplicabilidade deste teste incremental de campo na avaliação da performance física dos atletas em contextos reais de jogo.

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa procurou gerar informações práticas direcionadas para resolver problemas específicos, sendo, portanto, de natureza aplicada (PRODANOV e DE FREITAS, 2013). A pesquisa adotou uma abordagem quantitativa, utilizando recursos estatísticos para expressar numericamente os conhecimentos obtidos (PRODANOV e DE FREITAS, 2013). Quanto ao seu objetivo, ao descrever as características de uma determinada população e empregar técnicas padronizadas de coleta de dados, a pesquisa é classificada como descritiva correlacional. (PRODANOV e DE FREITAS, 2013).

3.2 PARTICIPANTES

A amostra deste estudo contou com a participação de 21 indivíduos do sexo masculino, divididos em dois grupos: onze jogadores de futebol universitário (idade: 23 ± 2 anos; massa corporal: 72 ± 7 kg; estatura: 174 ± 4 cm) e 10 indivíduos fisicamente ativos (idade: 26 ± 3 anos; massa corporal: 77 ± 6 kg; estatura: 178 ± 3 cm). A seleção foi feita por meio de amostragem não probabilística intencional.

Como critérios de inclusão, todos os participantes deveriam ter idade superior a 18 anos. Os indivíduos fisicamente ativos deveriam realizar exercício físico com uma frequência mínima de três vezes por semana. Os atletas, especificamente, deveriam ter frequência de treino superior a duas vezes por semana, experiência mínima de três anos na modalidade, e ausência de lesão ou de um processo de recuperação de lesão. Durante o período de coletas, os jogadores treinavam numa frequência semanal de duas vezes com duração média de 2 horas por sessão.

Previamente ao início das coletas, os sujeitos foram informados sobre a metodologia e os objetivos do estudo, e posteriormente assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEPSH) da Universidade Federal de Santa Catarina sob o número de protocolo 77951524.7.0000.0121.

3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Cada participante realizou duas visitas e o protocolo da pesquisa foi composto pelos seguintes testes, realizados em dois dias diferentes com um intervalo mínimo de 72 horas entre as visitas: Dia 1) avaliação da COxM dos músculos vasto lateral e gastrocnêmio medial, seguido

do teste incremental em esteira; Dia 2) teste de sprint máximo de 30 metros seguido do teste de sprints repetidos (Rampinini et al. 2007).

Todas as visitas foram realizadas no Centro de Desportos (CDS) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). As coletas da COxM e do teste incremental em esteira aconteceram no Laboratório de Esforço Físico (LAEF). Já os testes de sprints repetidos e de sprint de 30 metros foram realizados no campo de futebol da UFSC.

Durante a primeira visita no LAEF, após a assinatura do TCLE, foram realizadas as mensurações de altura, pelo estadiômetro com resolução de 0,1 cm (Sanny, São Paulo, Brasil) e massa corporal, com balança eletrônica com resolução de 0,1 kg (Soehnle, Murrhardt, Alemanha). Em seguida, foi feito o procedimento de oclusões arteriais para mensurar a COxM dos músculos gastrocnêmio medial (GM) e vasto lateral (VL). Posteriormente, foi realizado o teste incremental em esteira para a determinação do $\dot{V}O_2\text{max}$ e dos limiares ventilatórios.

Na segunda visita, no campo de futebol, foram aplicados os testes para a mensuração do desempenho de sprint. O protocolo foi composto pelo teste de sprint de 30 metros para a determinação da velocidade máxima de sprint (MVS) e o teste de sprints repetidos para avaliar a capacidade de o indivíduo sustentar a performance em esforços de alta intensidade. O teste de sprints repetidos também foi utilizado para avaliar o índice de fadiga.

3.4 TESTES E PROCEDIMENTOS

3.4.1 Teste Incremental em Esteira

O protocolo utilizado para a mensuração do $\dot{V}O_2\text{max}$ foi um teste incremental progressivo em esteira. O teste iniciou com uma velocidade de 8 km/h, com incrementos de 0,5 km/h a cada minuto (CAZORLA 1990; SILVEIRA et al., 2012). A inclinação foi mantida em 1% em todo o teste. Durante todo o teste, o consumo de oxigênio (VO_2) e a frequência cardíaca (FC) foram monitorados continuamente usando um analisador de gases (Quark CPET Ergo, Cosmed, Itália). O teste foi interrompido na exaustão voluntária e a maior velocidade atingida foi considerada o pico de velocidade. O $\dot{V}O_2\text{max}$ foi considerado o maior valor em médias móveis de 15 respirações seguidas. A FCmax foi determinada como o maior valor de frequência cardíaca registrado no teste.

A determinação dos limiares ventilatórios (LV1 e LV2) foi feita por meio da análise das trocas gasosas obtidas durante o teste incremental. O LV1 foi identificado como o ponto onde a ventilação (VE) e o equivalente ventilação e consumo de oxigênio (VE/ VO_2) aumentaram de

forma não linear, enquanto a ventilação pelo equivalente de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$) permaneceu estável. Já o LV2 foi o ponto onde ambos, a ventilação (VE) e a ventilação pelo equivalente de dióxido de carbono ($VE/\dot{V}CO_2$), aumentaram de forma não linear, caracterizando o ponto de compensação respiratória (WASSERMAN et al., 1973; KEIR et al. 2022). Os dados foram analisados por meio do site Exercise Threshold App (KEIR et al. 2022), disponível em <https://www.exercisethresholds.com/analyze>.

3.4.2 Sprint de 30 m e Teste de Sprint Repetidos

Para estabelecer a velocidade máxima de sprint (VMS) dos atletas, foi aplicado um teste de sprint de 30 metros. Este teste foi monitorado por um sistema de cronometragem eletrônico com fotocélulas (Microgate, Bolzano, Itália), que registrou o tempo de cada sprint realizado. Foram efetuadas três tentativas, com intervalo de 2 minutos entre eles, das quais o tempo mais rápido foi selecionado.

Para mensurar a capacidade de realizar sprints repetidos (CSR), foi realizado um teste de sprints repetidos, composto por seis repetições de corrida máxima, com uma distância de 20 metros de ida e 20 metros de volta, com uma mudança de direção de 180 graus. Cada sprint foi separado por 20 segundos de recuperação passiva. O tempo de cada sprint foi mensurado por um sistema de fotocélulas. Para a análise do decréscimo da velocidade, foi utilizada a fórmula proposta por Rampinini et al. (2007).

3.4.3 Análise dos dados NIRS

Os parâmetros de desoxihemoglobina (HHb), oxihemoglobina (O_2Hb), hemoglobina total (tHb) e índice de saturação tecidual (TSI) foram avaliados utilizando um dispositivo NIRS portátil (PortaMon; Artinis Medical Systems BV, Zetten, Holanda). Durante o teste da COxM, as leituras do NIRS foram captadas nas frequências de 750 e 850 nm, a uma taxa de 10 Hz. Antes da fixação do probe do NIRS nos músculo GM e VL, foi feita a limpeza e a depilação da região. A avaliação da oxigenação muscular do músculo gastrocnêmio medial foi realizado na perna direita, com a sonda do NIRS posicionada no ponto de maior circunferência do tríceps sural, seguindo a direção das fibras musculares. A mensuração no vasto lateral também foi realizada na perna direita, com a sonda do NIRS fixada no terço inferior do músculo vasto lateral, aproximadamente 10 cm acima da articulação do joelho

Para prevenir interferências de luz, o aparelho foi envolto em tecido escuro. Foi

realizado um protocolo de oclusão vascular muscular antes dos testes da COxM, conhecido como calibração fisiológica, que consiste na aplicação de um manguito de pressão na região distal da coxa, acima dos músculos Gastrocnemio Medial e Vasto Lateral. A pressão foi elevada até 300 mmHg por meio de um compressor de ar (Moto Press 8.2/25 WP82251, Wyllis, Colombo, Brasil).

3.4.4 Calibração Fisiológica

Antes de cada teste para determinação da COxM, foi efetuado um método de bloqueio do fluxo sanguíneo arterial para estabelecer a calibração fisiológica relacionada à captação de oxigênio pelo músculo (HHb), conforme descrito por McCully e Hamaoka (2000). O participante, sentado, passou por uma oclusão arterial depois de realizar uma flexão plantar bilateral de 10 segundos. A reação foi acompanhada até o alcance de um nível estável durante a fase de isquemia (ou seja, a máxima extração de O₂), que foi marcada como 100%. A contração isométrica tem o propósito de diminuir o período necessário para chegar a esse platô. Após isso, o manguito de pressão foi esvaziado e o processo foi observado até que se atingiu um novo patamar estável durante a reperfusão (isto é, a saturação máxima de O₂), que foi definido como 0%, segundo Sanni e McCully (2019).

3.4.5 Capacidade Oxidativa Muscular

O método de mensuração da capacidade oxidativa muscular (COxM), adaptado por Adami et al. (2017), foi aplicado para avaliar a capacidade oxidativa dos músculos GM e VL. Ao longo deste procedimento, os atletas foram orientados a manter-se relaxados e a não moverem a perna. A sequência de oclusões arteriais da COxM começou após realização da calibração fisiológica e de duas 2 medições iniciais da HHb por aproximadamente 20 segundos. A COxM envolveu uma contração isométrica que atingiu 50% do valor obtido na calibração fisiológica (por volta de 10 s), seguida imediatamente por um período de 10 s de preparação e uma sequência de 16 bloqueios intermitentes do fluxo arterial (composta por 4 oclusões de 3 segundos alternadas com 3 segundos de intervalo; 4 oclusões de 5 segundos intercaladas com 5 segundos de descanso; 4 oclusões de 10 segundos seguidas por 10 segundos de pausa e 4 oclusões de 15 segundos com 15 segundos de recuperação entre elas). Foram realizadas duas transições para análise e confiabilidade dos dados obtidos durante o procedimento de

mensuração da capacidade oxidativa muscular.

Os registros iniciais da HHb foram coletados e transferidos para uma planilha do Microsoft Excel. Para cada oclusão, a taxa de variação dos dados da HHb foi determinada utilizando uma regressão linear sobre um intervalo selecionado de 6 segundos, escolhido manualmente para otimizar a precisão da taxa de variação e excluir quaisquer valores discrepantes (ou seja, *outliers*) durante a oclusão. Os dados da HHb foram representados graficamente em função do tempo e modelados com a seguinte fórmula monoexponencial:

$$y(t) = A1 \times e^{-1/\tau} + \text{platô}.$$

Nesta equação, $y(t)$ representa a HHb ao longo das oclusões arteriais no momento t ; t indica o tempo; $A1$ é a diferença entre a HHb no final do exercício e o valor de estabilização; platô corresponde ao valor da HHb quando a curva se estabiliza; e τ é a constante de tempo, que reflete a capacidade oxidativa do músculo.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram apresentados como média \pm desvio padrão (DP). As diferenças absolutas e relativas nos dados foram expressas com intervalos de confiança de 95%. O teste ANOVA foi utilizado para comparar os resultados entre os grupos de atletas e não atletas. Para verificar a associação entre as variáveis foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson. Em todos os testes, foi adotado um nível de significância de $p < 0,05$.

4. RESULTADOS

4.1 COMPARAÇÃO ENTRE GRUPOS

Em relação a capacidade oxidativa muscular, a ANOVA detectou um tau mais rápido no músculo vasto lateral dos atletas comparado aos não atletas (Tabela 1, $p = 0,01$), sem diferenças entre grupos no gastrocnêmio medial ($p = 0,45$). Na comparação entre músculos dentro de cada grupo, o tau do músculo gastrocnêmio medial foi mais rápido do que vasto lateral no grupo não atletas ($p < 0,01$), sem diferenças entre músculos no grupo atletas ($p = 0,19$). A figura 1 apresenta uma resposta da CoxM para ambos os grupos.

Tabela 1. Capacidade oxidativa muscular, sprints e teste incremental em atletas (ATL) e indivíduos fisicamente ativos (FA).

	FA (n = 10)		ATL (n = 11)	
	Média ± DP	Mín – máx	Média ± DP	(Mín – máx)
CAPACIDADE OXIDATIVA MUSCULAR				
MOC GM (s)	34,1 ± 5,7	26,0 – 42,0	31,3 ± 6,7	23,1 – 45,9
MOC VL (s)	44,9 ± 11 [#]	29,3 – 58,9	36,0 ± 8,7*	19,6 – 49,3
SPRINTS				
Melhor sprint 30 m (s)	4,454 ± 0,147	4,211 – 4,689	4,375 ± 0,174	4,120 – 4,676
Média sprints 20+20 m (s)	8,124 ± 0,303	7,480 – 8,530	7,841 ± 0,316*	7,470 – 8,530
Índice de fadiga (%)	5,6 ± 1,6	3,6 – 8,4	4,6 ± 2,6	2,1 – 9,6
Tempo total ativo 20m+20m (s)	48,762 ± 1,24	51,21 – 44,88	47,10 ± 1,53	51,17 – 44,80
TESTE INCREMENTAL				
Pico de velocidade (km/h)	15,4 ± 1,8	11,0 – 18,0	16,4 ± 1,1	14,5 – 18,0
$\dot{V}O_2\text{max}$ (mL/Kg/min)	48,4 ± 5,6	40,2 – 58,7	55,1 ± 5,4*	47,7 – 63,2
$\dot{V}O_2\text{max}$ (mL/min)	3730 ± 561	2661 – 4392	3978 ± 432	3317 – 4906
FCmax (bpm)	192 ± 6	182 – 198	185 ± 8*	172 – 198
LV1 (km/h)	8,4 ± 0,3	8,0 – 9,0	8,4 ± 0,5	8,0 – 9,7
LV1 (mL/Kg/min)	30,0 ± 2,8	25,8 – 33,3	32,8 ± 2,5*	27,6 – 36,2
LV2 (km/h)	12,5 ± 1,0	10,5 – 13,8	12,8 ± 1,1	11,7 – 14,8
LV2 (mL/Kg/min)	43,4 ± 4,6	35,3 – 49,1	48,2 ± 3,2*	42,5 – 53,2

Dados estão apresentados em média ± DP.

*Diferença significativa em relação ao grupo não atletas ($p < 0,05$).

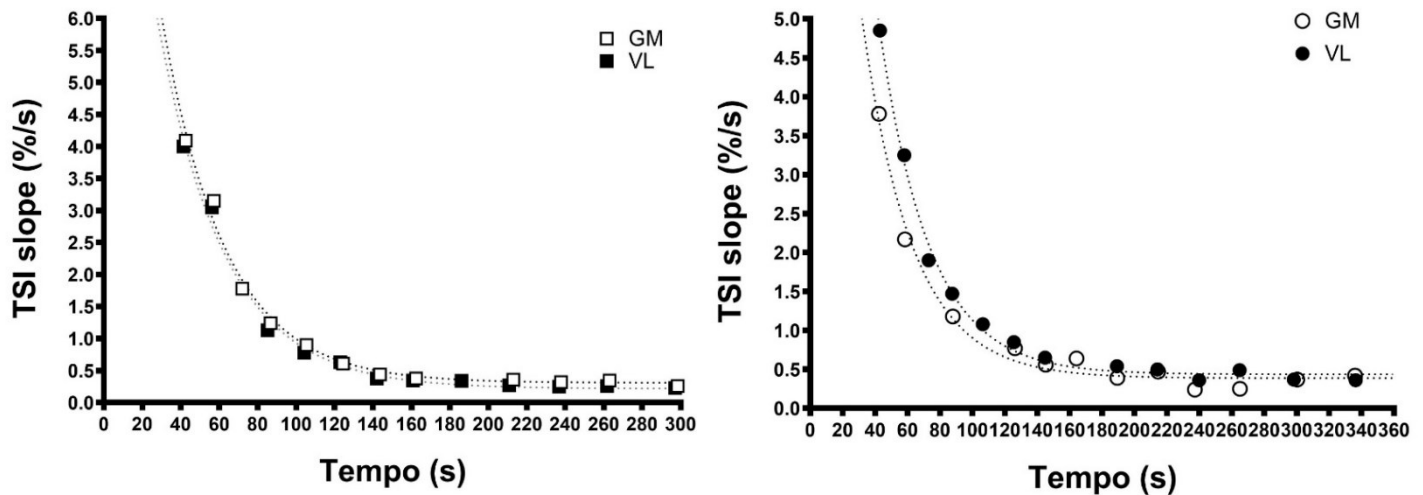
[#]Diferença significativa em relação a MOC GC no mesmo grupo ($p < 0,05$).

Com relação aos sprints, o grupo atletas apresentou melhor média de sprints do que não atletas (Tabela 1, $p = 0,05$), sem diferenças no melhor sprint ou índice de fadiga ($p > 0,05$).

No teste incremental, o grupo atletas apresentou maior $\dot{V}O_2\text{max}$ relativo a massa

corporal ($p = 0,01$), $\dot{V}O_2$ do LV1 ($p = 0,03$) e LV2 ($p = 0,02$) e menor FCmax ($p = 0,03$) do que o grupo não atletas. Não foram observadas diferenças entre grupos na velocidade máxima do teste incremental, $\dot{V}O_{2max}$ absoluto e velocidades do LV1 e LV2 ($p > 0,05$).

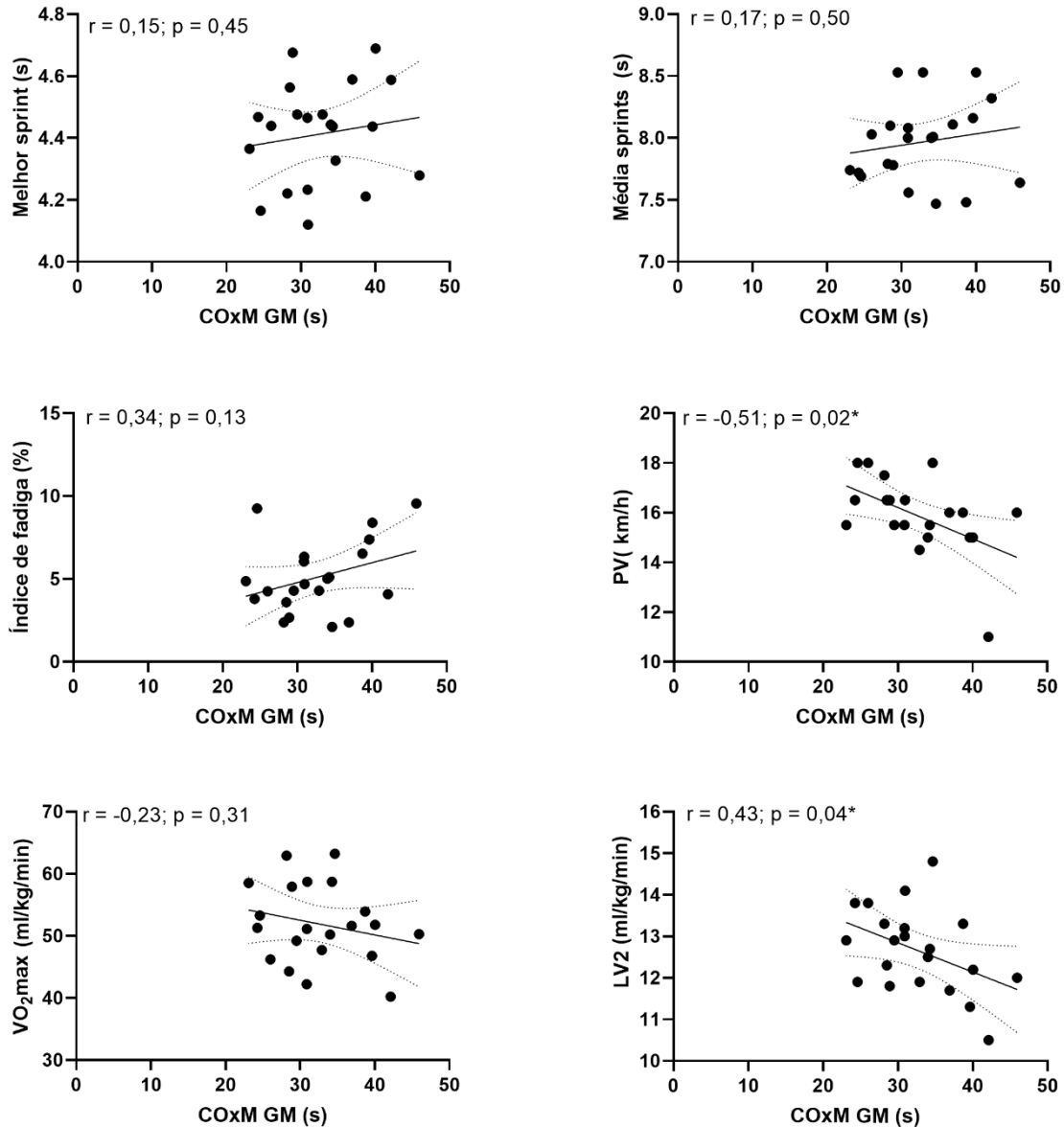
Figura 1. Cinética do consumo de oxigênio muscular do GM e VL de um indivíduo fisicamente ativo (esquerda) e de um jogador de futebol universitário (direita).



4.2 ASSOCIAÇÕES

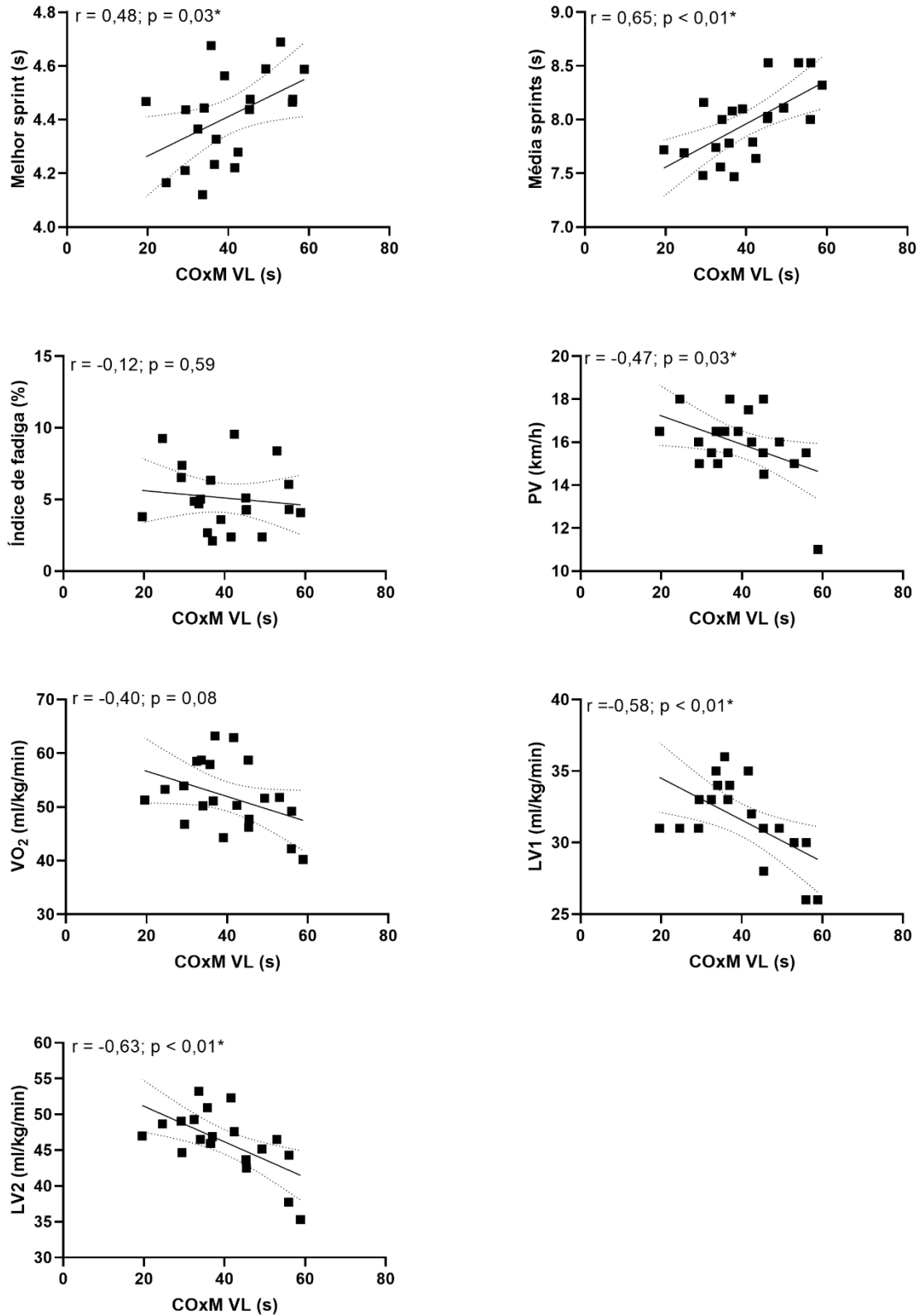
O tau da capacidade oxidativa muscular do gastrocnêmio medial se correlacionou significativamente com a velocidade máxima do teste incremental ($r = -0,51$; $p = 0,02$) e a velocidade do LV2 ($r = -0,43$; $p = 0,04$). Não foram observadas correlações com a média dos sprints ($r = 0,17$; $p = 0,50$), melhor sprint ($r = 0,15$, $p = 0,45$), índice de fadiga ($r = 0,34$, $p = 0,13$), $\dot{V}O_{2max}$ absoluto ($r = 0,00$, $p = 0,99$) e relativo ($r = -0,23$, $p = 0,31$) e demais variáveis.

Figura 2. Análise da correlação entre a capacidade oxidativa muscular do Gastrocnêmio Medial com o desempenho nos testes e índices fisiológicos.



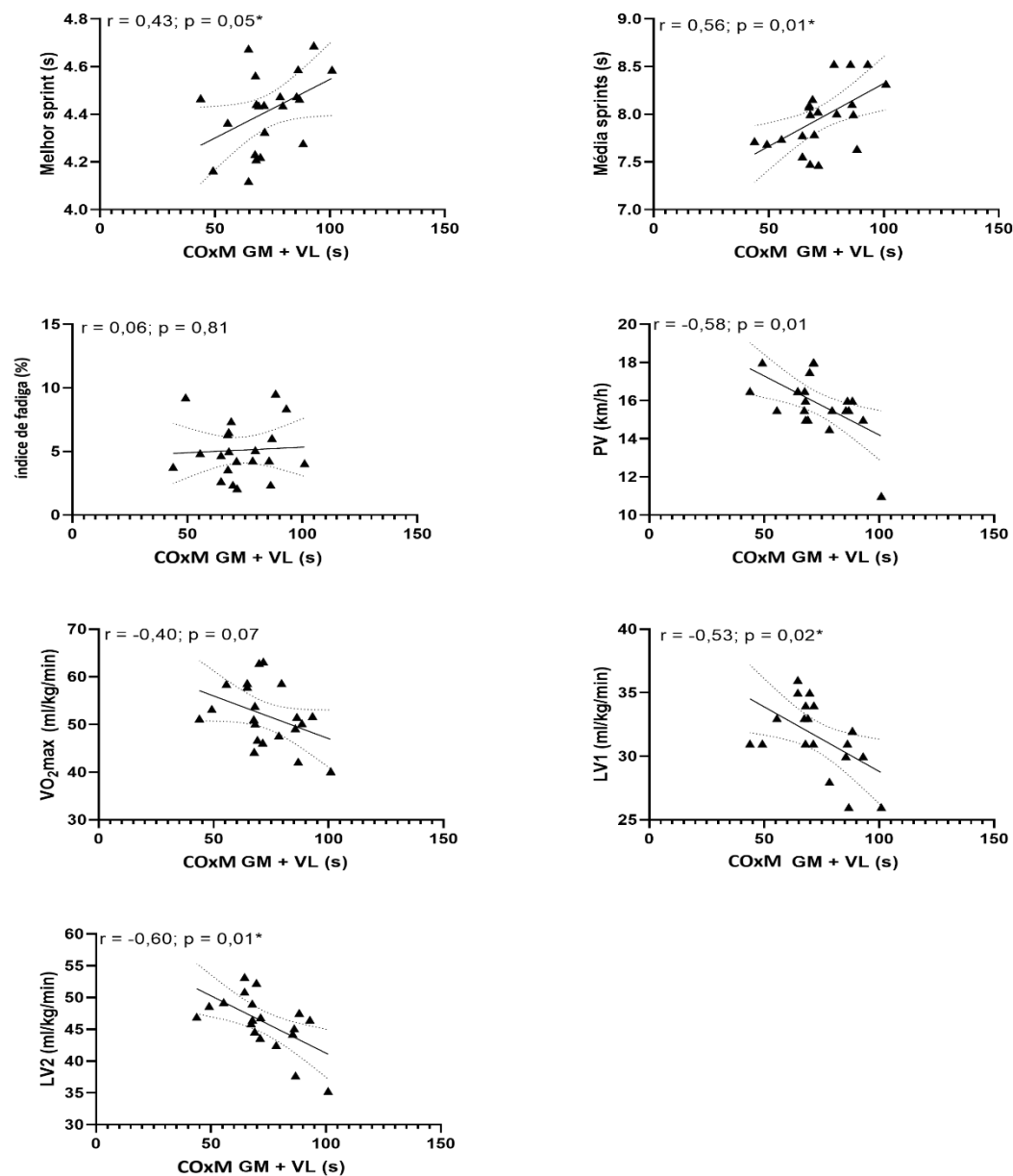
Já a capacidade oxidativa muscular do vasto lateral se correlacionou significativamente com melhor sprint ($r = 0,48$; $p = 0,03$), média dos sprints ($r = 0,65$; $p < 0,01$), velocidade máxima do teste incremental ($r = -0,47$; $P = 0,03$), VO₂ relativo do LV1 ($r = -0,58$; $p < 0,01$) e do LV2 ($r = -0,63$; $p < 0,01$). Não foram observadas correlações com índice de fadiga ($r = -0,12$; $p = 0,59$), VO₂max absoluto ($r = -0,25$; $p = 0,27$) e relativo ($r = -0,40$; $p = 0,08$), velocidades do LV1 ($r = -0,39$; $p = 0,08$) e LV2 ($r = -0,27$; $p = 0,23$) e demais variáveis.

Figura 3. Análise da correlação da capacidade oxidativa muscular do Vasto Lateral com o desempenho nos testes e índices fisiológicos.



Quando as correlações foram realizadas com as somas do tau dos músculos VL e GM, foram encontradas correlações significativas com melhor sprint ($r = 0,43$; $p = 0,05$), média dos sprints ($r = 0,56$; $p = 0,01$), velocidade máxima do teste incremental ($r = -0,58$; $p = 0,01$), $\dot{V}O_2$ do LV1 ($r = -0,53$; $p = 0,02$) e LV2 ($r = -0,60$; $p = 0,01$). Não foram reportadas correlações com índice de fadiga ($r = 0,06$; $p = 0,81$), $\dot{V}O_{2max}$ absoluto ($r = -0,19$; $p = 0,41$) e relativo ($r = -0,40$; $p = 0,07$) e velocidades do LV1 ($r = -0,31$; $p = 0,17$) e LV2 ($r = -0,39$; $p = 0,08$).

Figura 4. Análise da concordância da capacidade oxidativa muscular somada do Gastrocnêmio Medial e Vasto Lateral com o desempenho nos testes e índices fisiológicos.



5. DISCUSSÃO

O presente estudo teve como principal objetivo determinar e correlacionar a capacidade oxidativa muscular e o desempenho em sprints repetidos em jogadores de futebol universitário e em indivíduos fisicamente ativos. Os resultados demonstram que, embora a COxM do VL ($r = -0,12$; $p = 0,59$) e do GM ($r = 0,34$; $p = 0,13$) não tenham se correlacionado com o índice de fadiga, os achados indicam associação entre a COxM e a performance. A soma das COxM (GM + VL) mostrou associação com o melhor sprint ($r = 0,43$; $p = 0,05$) e com a média dos sprints ($r = 0,56$; $p = 0,01$). Além disso, a análise da COxM revelou que os atletas apresentaram um tempo de recuperação (τ) significativamente mais rápido no VL em comparação aos indivíduos fisicamente ativos ($36,0 \pm 8,7$ vs. $44,9 \pm 11$ s; $p = 0,01$). A COxM do VL também correlacionou significativamente com o melhor sprint ($r = 0,48$; $p = 0,03$) e a média dos sprints ($r = 0,65$; $p < 0,01$), além de se associar com a aptidão aeróbia (VO_2 do LV1 $r = -0,58$; $p < 0,01$) e (VO_2 do LV2: $r = -0,63$; $p < 0,01$). Por outro lado, a COxM do GM não apresentou diferenças significativa entre grupos ($p = 0,45$) e se associou apenas com a V_{max} ($r = -0,51$; $p = 0,02$) e a velocidade do LV2 ($r = -0,43$; $p = 0,04$).

Enquanto a literatura sugere que uma melhor capacidade oxidativa muscular está correlacionada a aptidão aeróbia (BEEVER et al., 2020; DE AGUIAR; 2020; MCCULLY et al., 2024; MEYER, MISSAO e MCCULLY, 2021), os resultados obtidos indicam que essa variável pode não ser um dos principais fatores limitante para a performance e resistência à fadiga em teste de esforços físicos intermitentes de curta duração. É importante reconhecer a natureza multifatorial da fadiga durante exercícios de alta intensidade, onde fatores metabólicos, periféricos e centrais estão envolvidos (DOLCI et al., 2020; MOHAMMED, 2016). Uma das principais hipóteses para o resultado encontrado é a de que o teste de sprints repetidos aplicado, sugerido por Rampinini (2007), tem curta duração total e pode ser considerado um teste de elevada predominância anaeróbia (MECKEL, MACHNAI e ELIAKIM, 2009; SWANWICK e MATTHEWS, 2018), onde todos os sujeitos tiveram uma média de tempo ativo do teste menor do que 50 segundos, típico de um teste de capacidade anaeróbia. Com esse período de esforço, menos de um minuto total em caráter intermitente, não é possível que o sistema aeróbio atinja seu pico de contribuição para a produção de energia e se torne o sistema energético predominante (SWANWICK e MATTHEWS, 2018). O componente oxidativo, embora crucial para a recuperação e o desempenho aeróbio (DE

AGUIAR; 2020; MEYER, MISSAO e MCCULLY, 2021), representa apenas uma parcela da contribuição energética no desempenho e fadiga geral em um teste de sprints repetidos. A partir disso, o desempenho pode não ter sido afetado por limitações do metabolismo oxidativo, mas sim por outros fatores metabólicos, periféricos e/ou centrais (DOLCI et al., 2020; MOHAMMED, 2016).

Apesar da falta de correlação entre a COxM e o desempenho no teste de sprints repetidos, a COxM parece ter se correlacionado com o desempenho nos testes e com variáveis fisiológicas. Na qual a COxM do GM se associou significativamente com a Vmax do teste incremental e a velocidade do LV2. Já a COxM do VL se associou a esses mesmos parâmetros, mas também com o melhor sprint, a média dos sprints e índices de capacidade aeróbia, como o VO₂ do LV1 e o VO₂ do LV2. Diferentes estudos têm investigado a associação da COxM do VL com a aptidão aeróbia e o desempenho (BROWN et al., 2022; BEEVER et al., 2020; MEYER, MISSAO e MCCULLY, 2021), assim como outros realizaram a comparação por meio da COxM do GM (BEEVER et al., 2020; MCCULLY et al., 2024; MEYER, MISSAO e MCCULLY, 2021; BROWN et al., 2022; DE AGUIAR; 2020). Os resultados dos estudos demonstraram uma correlação positiva entre o nível de treinamento, refletido por variáveis fisiológicas como $\dot{V}O_{2max}$, limiares ventilatórios e desempenho em testes incrementais, com a COxM do GM e do VL.

Em relação aos estudos que compararam a COxM de ambos GM e VL, tem sido observado uma correlação positiva entre a aptidão aeróbia e a COxM (MEYER, MISSAO e MCCULLY, 2021; BEEVER et al., 2020; GUZMAN et al., 2020). Guzman et al. (2020) procuraram prever a aptidão aeróbia (mensurada pelo VO_{2pico}) por meio da COxM do GM e do VL. Eles encontraram que ambos os músculos, individualmente, se correlacionaram significativamente com o VO_{2pico}. Além disso, os autores também observaram que a soma da COxM do GM e VL melhorou substancialmente a força dessa correlação. Esses resultados também foram encontrados na pesquisa de Meyer, Missao e McCully (2021), que comparou a COxM de quatro músculos distintos, dois MMII (GM e o VL), e dois MMSS (bíceps braquial e flexor do punho), em três diferentes grupos, um de atletas que utilizam primariamente as pernas, um de atletas de esportes que utilizam o corpo todo e um grupo controle. O estudo, além de demonstrar que a COxM dos MMII foi superior ao dos MMSS, também correlacionou a COxM ao nível de treinamento e observou correlação da COxM do GM + VL com o $\dot{V}O_{2max}$. No entanto, os autores não encontraram diferenças significativas entre a COxM do VL e

GM, sugerindo uma COxM similar entre músculos. Contrariamente, Beever et al. (2020) não encontrou correlação significativa entre a soma das COxM e a aptidão aeróbia. Além disso, os autores concluíram que apenas a COxM do VL se correlacionou significativamente com os diferentes índices fisiológicos analisados.

Os resultados do presente estudo parecem contribuir para esta discussão ao comparar a COxM do GM e VL e sua relação com o desempenho em diferentes testes físicos. Os estudos que compararam a COxM do GM e VL (MEYER, MISSAO e MCCULLY, 2021; BEEVER et al., 2020; GUZMAN et al., 2020) revelaram associação das medidas com a aptidão aeróbia. Nas pesquisas de Guzman et al. (2020) e Meyer, Missao e McCully (2021), foi encontrado que a COxM do GM e também do VL se associaram ao nível de treinamento. Além disso, ambos estudos observaram que a COxM combinada do GM + VL apresentou correlação significativa com o $\dot{V}O_{2max}$. Já em nosso estudo, a soma das COxM se correlacionou com o melhor sprint e a média dos sprints, mas não apresentou correlação significativa com o $\dot{V}O_{2max}$ ou com os limiares ventilatórios. Complementando, identificamos que apenas a COxM do VL apresentou diferença significativa entre os grupos, sendo melhor no grupo ATL comparado ao grupo FA. Além disso a COxM do VL parece ter se associado a mais parâmetros de aptidão aeróbia e de desempenho do que a COxM do GM, ao demonstrar associação significativa com a Vmax do teste incremental, o melhor sprint, a média dos sprints e as variáveis aeróbias (VO_2 do LV1 e LV2). Neste sentido, o estudo de Beever et al., (2020) encontrou resultados similares, onde a soma das COxM do GM e VL não apresentou correlação com índices de aptidão aeróbia e apenas a COxM do VL se correlacionou com diversas variáveis como VO_{2max} , limiares aeróbios, incluindo a potência pico, LV1, limiar de troca gasosa e o ponto de compensação respiratória. Coletivamente, estes resultados indicam uma melhor associação da COxM mensurada no músculo vasto lateral com índices da aptidão aeróbia em comparação ao gastrocnêmio medial.

Em relação a comparação dos resultados entre grupos, o grupo de atletas demonstrou uma melhor média de sprints ($7,84 \pm 3,316$ s; $8,12 \pm 0,303$ s, respectivamente; $p < 0,01$) e um maior valor de $\dot{V}O_{2max}$ relativo ($55,1 \pm 5,4$ kg/ml/min; $48,4 \pm 5,6$ kg/ml/min; $p = 0,01$). No entanto, não houve diferença significativa entre os grupos no melhor sprint e desempenho no teste de sprints repetidos (atletas: $4,6 \pm 2,6\%$ fisicamente ativos: $5,6\% \pm 1,6$). ($p > 0,05$), assim como na Vmax atingida no teste incremental ($p > 0,05$). A média do índice de fadiga foi similar entre grupos, próximo de 5%. Isso indica que o teste em si pode não ter sido capaz de distinguir o nível atlético

dos indivíduos, podendo significar que o nível de treinamento dos jogadores não é tão elevado assim, ou por fim, que os indivíduos sem treinamento possuem um nível de condicionamento físico em sprints similar ao dos jogadores. Estudos que compararam a aptidão aeróbia entre atletas amadores e grupo de indivíduos fisicamente ativos/controlado relataram um $\dot{V}O_2\text{max}$ de 55-65 kg/ml/min para o grupo de atletas (SRIVASTAVA et al., 2024; MEYER, MISSAO e MCCULLY, 2021). Assim como um VO_2 relativo abaixo de 45 kg/ml/min para o grupo fisicamente ativos/controlado (SRIVASTAVA et al., 2024; MEYER, MISSAO e MCCULLY, 2021). Essa maior homogeneidade entre grupos observada no presente estudo pode explicar a ausência de diferenças significativas de algumas variáveis, como por exemplo a velocidade final do teste incremental, o melhor sprint e o índice de fadiga. Nesse caso, o grupo de FA apresentou valores de $\dot{V}O_2\text{max}$ relativamente altos, revelando um bom condicionamento físico. Apesar disso, o grupo ATL apresentou uma melhor $COxM$ do VL, melhores valores de $\dot{V}O_2\text{max}$ relativo, VO_2 no LV1 e LV2, assim como menor média dos sprints e uma menor frequência cardíaca máxima, sugerindo um melhor condicionamento cardiovascular (MOHR et al., 2025). Indo de acordo com a literatura, esses achados podem ter sido gerados pelo maior volume e intensidade característicos do treinamento de futebol, gerando as adaptações metabólicas e fisiológicas encontradas (MOHR et al., 2025; HILL-HAAS et al., 2011, IAIA et al., 2009).

Apesar dos achados relevantes, este estudo possui algumas limitações que devem ser consideradas. Primeiramente, o tamanho da amostra ($n = 21$) pode ter influenciado os resultados estatísticos, que se baseiam principalmente em correlação. Assim, a generalização dos achados dessa pesquisa para outras populações deve ser feita com cautela. Além disso, por se tratar de um estudo transversal, a pesquisa não permite estabelecer uma relação de causa e efeito, ou seja, não é possível afirmar que o treinamento de futebol causou as adaptações na capacidade oxidativa muscular e de desempenho. Futuros estudos com delineamento longitudinal devem ser feitos para confirmar tais hipóteses. No entanto, a pesquisa também apresenta características importantes que a podem tornar valiosa. Como a utilização do NIRS para avaliar a capacidade oxidativa em dois músculos distintos (vasto lateral e gastrocnêmio medial), que permitiu uma análise mais detalhada e específica da contribuição muscular para a performance, algo pouco explorado na literatura. A comparação entre atletas e indivíduos fisicamente ativos também oferece um contexto valioso para a compreensão das adaptações fisiológicas específicas do esporte.

A partir disso, os resultados do presente estudo fornecem informações importantes sobre a capacidade oxidativa do GM e VL e o desempenho. A não associação entre COxM dos dois músculos com o teste de fadiga pode significar um papel menos importante no desempenho em teste de sprints repetidos. Em relação a COxM dos dois músculos, o VL apresentou diferenças significativas entre o grupo de atletas e o grupo de fisicamente ativos, além de associar com mais variáveis de desempenho do que a COxM do GM, podendo sugerir um papel mais proeminente com a aptidão aeróbia. Por fim, futuros estudos que busquem seguir investigando a COxM de diferentes músculos e o desempenho em diferentes contextos podem ser importantes para um maior entendimento da medida, visando a prescrição de treinamentos mais individualizados e eficazes.

6. CONCLUSÕES

O presente estudo demonstrou que a capacidade oxidativa muscular não se correlacionou com o índice de fadiga em ambos os músculos Vasto Lateral e Gastrocnêmio Medial, sugerindo que essa variável possa não ser um dos fatores primários na performance e na resistência à fadiga em testes de sprints repetidos de curta duração. No entanto, a soma das capacidades oxidativas musculares (VL + GM) se correlacionou significativamente com o melhor sprint e com a média dos sprints. Além disso, a COxM do Vasto Lateral foi significativamente melhor no grupo de atletas e se associou a um conjunto mais amplo de variáveis de aptidão aeróbia e performance do que a COxM do GM. Essa distinção sugere que o VL foi um indicador metabólico mais correlacionado com a aptidão aeróbia do que o GM, o que reforça a necessidade de estudos futuros que investiguem a especificidade muscular da COxM e o desempenho.

REFERÊNCIAS

ADAMI, Alessandra et al. Reproducibility of NIRS assessment of muscle oxidative capacity in smokers with and without COPD. **Respiratory physiology & neurobiology**, v. 235, p. 18-26, 2017.

ADAMI, Alessandra; ROSSITER, Harry B. Principles, insights, and potential pitfalls of the noninvasive determination of muscle oxidative capacity by near-infrared spectroscopy. **Journal of Applied Physiology**, v. 124, n. 1, p. 245-248, 2018.

ALTMANN, Stefan et al. Effective playing time affects physical match performance in soccer: An analysis according to playing position. **Biology of Sport**, v. 40, n. 4, p. 967-973, 2023.

AMORIM, Nuno Miguel Machado. Effects of gradual change of Exercise Intensity on Muscle Oxygenation, measured by Near-infrared Spectroscopy. 2017

ANDRZEJEWSKI, Marcin et al. Analysis of sprinting activities of professional soccer players. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 27, n. 8, p. 2134-2140, 2013.

ASTORINO, Todd A. et al. Incidence of the oxygen plateau at $\dot{V}O_{2max}$ during exercise testing to volitional fatigue. **Journal of exercise physiology online**, v. 3, n. 4, p. 1-12, 2000.

BATTERSON, Philip M. et al. Improving biologic predictors of cycling endurance performance with near-infrared spectroscopy derived measures of skeletal muscle respiration: E pluribus unum. **Physiological reports**, v. 8, n. 2, p. e14342, 2020.

BANGSBO, Jens; IAIA, F. Marcello; KRUSTRUP, Peter. The Yo-Yo intermittent recovery test: a useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. **Sports medicine**, v. 38, p. 37-51, 2008

BANGSBO, J.; LINDQUIST, F. Comparison of various exercise tests with endurance performance during soccer in professional players. **International journal of sports medicine**, v. 13, n. 02, p. 125-132, 1992.

BEEVER, Austin T. et al. NIRS-derived skeletal muscle oxidative capacity is correlated with aerobic fitness and independent of sex. **Journal of Applied Physiology**, v. 129, n. 3, p. 558-568, 2020.

BELLINGER, Phillip M. et al. Overreaching Attenuates Training-induced Improvements in Muscle Oxidative Capacity. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 52, n. 1, p. 77-85, 2020.

BILLAUT, F.; BUCHHEIT, M. Repeated-sprint performance and vastus lateralis oxygenation: Effect of limited O₂ availability. **Scandinavian journal of medicine &**

science in sports, v. 23, n. 3, p. e185-e193, 2013.

BENTLEY, David J.; NEWELL, John; BISHOP, David. Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. **Sports medicine**, v. 37, p. 575-586, 2007.

BOUSHEL, R. et al. Monitoring tissue oxygen availability with near infrared spectroscopy (NIRS) in health and disease. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, v. 11, n. 4, p. 213-222, 2001.

BRADY, Aidan J.; ROANTREE, Mark; EGAN, Brendan. Test–Retest Reliability of Running Economy and Metabolic and Cardiorespiratory Parameters During a Multistage Incremental Treadmill Test in Male Middle-and Long-Distance Runners. **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism**, v. 1, n. aop, p. 1-8, 2024.

BRIZENDINE, Jared Todd. Skeletal muscle mitochondrial function in endurance athletes measured with near infrared spectroscopy. 2012.

BROCHERIE, Franck; MILLET, Gregoire P.; GIRARD, Olivier. Neuro-mechanical and metabolic adjustments to the repeated anaerobic sprint test in professional football players. **European journal of applied physiology**, v. 115, p. 891-903, 2015.

BROWN, James; MELTON, Riley. Association of Near-Infrared Spectroscopy Assessed Muscle Oxidative Capacity Between Collegiate Cross-Country Athletes and College Students. 2022.

BUCHHEIT, Martin et al. Reproducibility and sensitivity of muscle reoxygenation and oxygen uptake recovery kinetics following running exercise in the field. **Clinical physiology and functional imaging**, v. 31, n. 5, p. 337-346, 2011.

BISHOP, David; GIRARD, Olivier; MENDEZ-VILLANUEVA, Alberto. Repeated-sprint ability—part II: recommendations for training. **Sports medicine**, v. 41, p. 741-756, 2011.

CAMPA, Francesco et al. Anthropometry, physical and movement features, and repeated-sprint ability in soccer players. **International journal of sports medicine**, v. 40, n. 02, p. 100-109, 2019.

CAN, Ibrahim. Comparison of Repeated Sprint Ability of Amateur Football Players According to Age and Playing Positions. **World Journal of Education**, v. 8, n. 2, p. 54-65, 2018.

CARMINATTI, Lorival J. et al. Intermittent versus continuous incremental field tests: are maximal variables interchangeable?. **Journal of sports science & medicine**, v. 12, n. 1, p. 165, 2013.

CAZORLA, G. Tests de terrain pour évaluer la capacité aérobie et la vitesse maximale aérobie. **Cazorla G, Robert et G. L'évaluation en activité physique et en sport. Cestas: AREAPS**, p. 151-74, 1990.

CELIE, Bert et al. Reliability of near infrared spectroscopy (NIRS) for measuring

forearm oxygenation during incremental handgrip exercise. **European journal of applied physiology**, v. 112, p. 2369-2374, 2012.

CHANCE, Britton et al. Skeletal muscle energetics with PNMR: personal views and historic perspectives. **NMR in Biomedicine: An International Journal Devoted to the Development and Application of Magnetic Resonance In vivo**, v. 19, n. 7, p. 904-926, 2006.

DA SILVA, Juliano F. et al. Validity and reliability of a new field test (Carminatti's test) for soccer players compared with laboratory-based measures. **Journal of Sports Sciences**, v. 29, n. 15, p. 1621-1628, 2011.

DE AGUIAR, Rafael A. et al. Near-infrared spectroscopy-derived muscle $\dot{V}O_2$ kinetics after moderate running exercise in healthy males: reliability and associations with parameters of aerobic fitness. **Experimental Physiology**, v. 107, n. 5, p. 476-488, 2022.

DI MICHELE, Rocco et al. Comparison of physiological responses to an incremental running test on treadmill, natural grass, and synthetic turf in young soccer players. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 23, n. 3, p. 939-945, 2009.

DOLCI, Filippo et al. Physical and energetic demand of soccer: a brief review. **Strength & Conditioning Journal**, v. 42, n. 3, p. 70-77, 2020.

FISKERSTRAND, Å.; SEILER, K. S. Training and performance characteristics among Norwegian international rowers 1970–2001. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, v. 14, n. 5, p. 303-310, 2004.

GHARBI, Zied et al. Aerobic and anaerobic determinants of repeated sprint ability in team sports athletes. **Biology of sport**, v. 32, n. 3, p. 207-212, 2015.

GIRARD, Olivier; MENDEZ-VILLANUEVA, Alberto; BISHOP, David. Repeated-sprint ability—part I: factors contributing to fatigue. **Sports medicine**, v. 41, p. 673-694, 2011.

GLAISTER, Mark. Multiple sprint work: physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. **Sports medicine**, v. 35, p. 757-777, 2005.

GRANATA, Cesare; JAMNICK, Nicholas A.; BISHOP, David J. Training-induced changes in mitochondrial content and respiratory function in human skeletal muscle. **Sports Medicine**, v. 48, n. 8, p. 1809-1828, 2018.

GRASSI, Bruno et al. Blood lactate accumulation and muscle deoxygenation during incremental exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 87, n. 1, p. 348-355, 1999.

GRASSI, Bruno; QUARESIMA, Valentina. Near-infrared spectroscopy and skeletal muscle oxidative function in vivo in health and disease: a review from an exercise physiology perspective. **Journal of biomedical optics**, v. 21, n. 9, p. 091313, 2016.

GUZMAN, Steve et al. Association between muscle aerobic capacity and whole-body peak oxygen uptake. **European Journal of Applied Physiology**, v. 120, n. 9, p. 2029-

2036, 2020.

GHOSH, Asok Kumar. Anaerobic threshold: its concept and role in endurance sport. **The Malaysian journal of medical sciences: MJMS**, v. 11, n. 1, p. 24, 2004.

HAMAOKA, Takafumi; MCCULLY, Kevin K. Review of early development of near-infrared spectroscopy and recent advancement of studies on muscle oxygenation and oxidative metabolism. **The Journal of Physiological Sciences**, v. 69, n. 6, p. 799-811, 2019.

HARGREAVES, Mark; SPRIET, Lawrence L. Skeletal muscle energy metabolism during exercise. **Nature metabolism**, v. 2, n. 9, p. 817-828, 2020.

HAUGEN, Thomas A. et al. The role and development of sprinting speed in soccer. **International journal of sports physiology and performance**, v. 9, n. 3, p. 432-441, 2014.

HILL-HAAS, Stephen V. et al. Physiology of small-sided games training in football: a systematic review. **Sports medicine**, v. 41, n. 3, p. 199-220, 2011.

HOPKINS, William et al. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. **Medicine Science in Sports Exercise**, v. 41, n. 1, p. 3, 2009.

HOLLOSZY, John O. Biochemical adaptations in muscle: effects of exercise on mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzyme activity in skeletal muscle. **Journal of biological chemistry**, v. 242, n. 9, p. 2278-2282, 1967.

HOOD, David A. et al. Mechanisms of exercise-induced mitochondrial biogenesis in skeletal muscle: implications for health and disease. **Comprehensive Physiology**, v. 1, n. 3, p. 1119-1134, 2011.

HSIA, Connie CW. Respiratory function of hemoglobin. **New England Journal of Medicine**, v. 338, n. 4, p. 239-248, 1998.

IAIA, F. Marcello; ERMANNO, Rampinini; BANGSBO, Jens. High-intensity training in football. **International journal of sports physiology and performance**, v. 4, n. 3, p. 291-306, 2009.

INGLIS, Erin Calaine; IANNETTA, Danilo; MURIAS, Juan M. The plateau in the NIRS-derived [HHb] signal near the end of a ramp incremental test does not indicate the upper limit of O₂ extraction in the vastus lateralis. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 313, n. 6, p. R723-R729, 2017.

JACOBS, Robert Acton et al. Determinants of time trial performance and maximal incremental exercise in highly trained endurance athletes. **Journal of Applied Physiology**, v. 111, n. 5, p. 1422-1430, 2011.

KAPLAN, Turgut. Examination of repeated sprinting ability and fatigue index of soccer players according to their positions. **The Journal of Strength & Conditioning**

Research, v. 24, n. 6, p. 1495-1501, 2010.

KEIR, Daniel A. et al. Using ramp-incremental $\dot{V}O_2$ responses for constant-intensity exercise selection. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 43, n. 9, p. 882-892, 2018.

KONEFAŁ, Marek et al. The influence of thermal stress on the physical and technical activities of soccer players: lessons from the 2018 FIFA World Cup in Russia. **International Journal of Biometeorology**, v. 65, p. 1291-1298, 2021.

LAGERWAARD, Bart et al. In vivo assessment of muscle mitochondrial function in healthy, young males in relation to parameters of aerobic fitness. **European journal of applied physiology**, v. 119, n. 8, p. 1799-1808, 2019.

LAGERWAARD, Bart et al. In vivo assessment of mitochondrial capacity using NIRS in locomotor muscles of young and elderly males with similar physical activity levels. **GeroScience**, v. 42, n. 1, p. 299-310, 2020.

LI, Fang et al. The Determination of Step Frequency in 3-min Incremental Step-in-Place Tests for Predicting Maximal Oxygen Uptake from Heart Rate Response in Taiwanese Adults. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 1, p. 563, 2022.

LOOBY, Seamus; FLANDERS, Adam. Spine trauma. **Radiologic Clinics**, v. 49, n. 1, p. 129-163, 2011.

MANCINI, Donna M. et al. Validation of near-infrared spectroscopy in humans. **Journal of Applied Physiology**, v. 77, n. 6, p. 2740-2747, 1994.

MCCULLY, Kevin K.; HAMAOKA, Takafumi. Near-infrared spectroscopy: what can it tell us about oxygen saturation in skeletal muscle?. **Exercise and sport sciences reviews**, v. 28, n. 3, p. 123-127, 2000.

MCCULLY, Kevin K. et al. Skeletal muscle oxidative metabolism during exercise measured with near infrared spectroscopy. **NDT**, v. 2, n. 4, p. 417-429, 2024.

MECKEL, Yoav; MACHNAI, Oren; ELIAKIM, Alon. Relationship among repeated sprint tests, aerobic fitness, and anaerobic fitness in elite adolescent soccer players. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 23, n. 1, p. 163-169, 2009.

METAXAS, Thomas et al. Correlation of fiber-type composition and sprint performance in youth soccer players. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 33, n. 10, p. 2629-2634, 2019.

MEZZAROBA, Paulo V. et al. LED session prior incremental step test enhance $\dot{V}O_{2max}$ in running. **Lasers in Medical Science**, v. 33, p. 1263-1270, 2018.

MEYER, Patrick Hunter; MISSAO, Eduardo Toshiyuki; MCCULLY, Kevin. Muscle oxidative capacity in the arms and legs of various types of endurance trained athletes. **Medical Research Archives**, v. 9, n. 7, 2021.

MOHAMMED, Zerf. Muscle Types, Strength Gains, and Energy Systems what relationships in Soccer game. **Sohag Journal of Sciences**, v. 1, n. 1, p. 13-17, 2016.

MOHORIC, Uros et al. Comparison of the field-based intermittent running fitness test 30-15 and the treadmill multistage incremental test for the assessment of cardiorespiratory fitness in elite handball players. **International journal of environmental research and public health**, v. 19, n. 6, p. 3535, 2022.

MOHR, Magni et al. Periodization: Planning Fitness Training in Football. In: **Strength and Conditioning for Football**. Routledge, 2025. p. 74-88.

MOHR, Magni; KRUSTRUP, Peter; BANGSBO, Jens. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. **Journal of sports sciences**, v. 21, n. 7, p. 519-528, 2003.

MONTE, Andrea et al. Gastrocnemius Medialis and Vastus Lateralis in vivo muscle-tendon behavior during running at increasing speeds. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, v. 30, n. 7, p. 1163-1176, 2020.

MOTOBE, Mayuko et al. Noninvasive monitoring of deterioration in skeletal muscle function with forearm cast immobilization and the prevention of deterioration. **Dynamic Medicine**, v. 3, n. 1, p. 1-11, 2004.

MURIAS, Juan M.; POGLIAGHI, Silvia; PATERSON, Donald H. Measurement of a true $\dot{V}O_2\text{max}$ during a ramp incremental test is not confirmed by a verification phase. **Frontiers in Physiology**, v. 9, p. 143, 2018.

NEVIN, Jonpaul. The Efficacy of an Eight-Week Strength and Endurance Training Programme on Hand Cycling Performance. 2017. **Tese de Doutorado**. St Mary's University, Twickenham.

PANDY, Marcus G. et al. How muscles maximize performance in accelerated sprinting. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 31, n. 10, p. 1882-1896, 2021.

PERRY, Christopher GR; HAWLEY, John A. Molecular basis of exercise-induced skeletal muscle mitochondrial biogenesis: historical advances, current knowledge, and future challenges. **Cold Spring Harbor perspectives in medicine**, v. 8, n. 9, p. a029686, 2018.

POSSAMAI, Leonardo Trevisol et al. Muscle oxidative capacity in vivo is associated with physiological parameters in trained rowers. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 94, n. 4, p. 1020-1027, 2023.

POOLE, David C. et al. The anaerobic threshold: 50+ years of controversy. **The Journal of physiology**, v. 599, n. 3, p. 737-767, 2021.

PRETORIUS, Anika; ENGELBRECHT, Louise; TERBLANCHE, Elmarie. A 6-Week Ketogenic Diet Enhances the Phosphocreatine Energy System Contribution During

Intermittent Sprints. **Journal of Science in Sport and Exercise**, p. 1-9, 2024.

QAISAR, Rizwan; BHASKARAN, Shylesh; VAN REMMEN, Holly. Muscle fiber type diversification during exercise and regeneration. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 98, p. 56-67, 2016.

RAMPININI, Ermanno et al. Validity of simple field tests as indicators of match-related physical performance in top-level professional soccer players. **International journal of sports medicine**, p. 228-235, 2006.

RAMPININI, Ermanno et al. Variation in top level soccer match performance. **International journal of sports medicine**, p. 1018-1024, 2007.

RAMPININI, Ermanno et al. Repeated-sprint ability in professional and amateur soccer players. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 34, n. 6, p. 1048-1054, 2009.

RUSCIANO, G. Experimental analysis of Hb oxy–deoxy transition in single optically stretched red blood cells. **Physica Medica**, v. 26, n. 4, p. 233-239, 2010.

RYAN, Terence E. et al. Assessment of in vivo skeletal muscle mitochondrial respiratory capacity in humans by near-infrared spectroscopy: a comparison with in situ measurements. **The Journal of physiology**, v. 592, n. 15, p. 3231-3241, 2014..

RYAN, Terence E. et al. Noninvasive evaluation of skeletal muscle mitochondrial capacity with near-infrared spectroscopy: correcting for blood volume changes. **Journal of applied physiology**, v. 113, n. 2, p. 175-183, 2012.

RYAN, Terence E. et al. A cross-validation of near-infrared spectroscopy measurements of skeletal muscle oxidative capacity with phosphorus magnetic resonance spectroscopy. **Journal of applied physiology**, v. 115, n. 12, p. 1757-1766, 2013..

RYAN, Terence E. et al. Activity-induced changes in skeletal muscle metabolism measured with optical spectroscopy. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 45, n. 12, 2013.

SANNI, Adeola A.; MCCULLY, Kevin K. Interpretation of Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) Signals in Skeletal Muscle. **Journal of Functional Morphology and Kinesiology**, v. 4, n. 2, p. 28, 2019.

SILVEIRA, Bruno Honorato da et al. Comparação do ponto de deflexão da frequência cardíaca com a máxima fase estável de lactato em corredores de fundo. **Motriz: Revista de Educação Física**, v. 18, p. 01-08, 2012.

SNYDER, A. C.; PARMENTER, M. A. Using near-infrared spectroscopy to determine maximal steady state exercise intensity. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 23, n. 6, p. 1833–1840, 2009

STAMFORD, B. A. Step increment versus constant load tests for determination of maximal oxygen uptake. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 35, p. 89-93, 1976.

STØLEN, Tomas et al. Physiology of soccer: an update. **Sports medicine**, v. 35, p. 501-536, 2005.

SRIVASTAVA, Sujay et al. Assessment of maximal oxygen uptake (VO₂ Max) in athletes and Nonathletes assessed in sports physiology laboratory. **Cureus**, v. 16, n. 5, p. e61124, 2024.

SWANWICK, E.; MATTHEWS, M. Energy systems: A new look at aerobic metabolism in stressful exercise. **MOJ Sports Med**, v. 2, n. 1, p. 00039, 2018.

TRIPP, Thomas R. et al. Contraction intensity affects NIRS-derived skeletal muscle oxidative capacity but not its relationships to mitochondrial protein content or aerobic fitness. **Journal of Applied Physiology**, v. 136, n. 2, p. 298-312, 2024.

VIGNE, Gregory et al. Activity profile in elite Italian soccer team. **International journal of sports medicine**, p. 304-310, 2010.

WILSON, J. R. et al. Noninvasive detection of skeletal muscle underperfusion with near-infrared spectroscopy in patients with heart failure. **Circulation**, v. 80, n. 6, p. 1668–1674, 1989.

WILSON, John R. et al. Exercise intolerance in patients with chronic heart failure: role of impaired nutritive flow to skeletal muscle. **Circulation**, v. 69, n. 6, p. 1079-1087, 1984.

ZUNIGA, Jorge M. et al. Metabolic parameters for ramp versus step incremental cycle ergometer tests. **Applied physiology, nutrition, and metabolism**, v. 37, n. 6, p. 1110-1117, 2012.