



UNIVERSIDADE
LUSÓFONA

Centro Universitário de Lisboa

Faculdade de Educação Física e Desporto

Doutoramento em Educação Física e Desporto

**COMPRIMENTO RELATIVO DOS DEDOS
COMO MARCADOR DE
DESENVOLVIMENTO BIOLÓGICO E
DESEMPENHO DESPORTIVO**

**Tese de Doutoramento apresentada a provas públicas para a obtenção do grau de
Doutor em Educação Física e Desporto, na especialidade de Atividade Física e
Saúde, orientada pelo Professor Doutor João Alberto Valente dos Santos**

Vanda Cristina Bernardino Rosa, nº 21803989

2026

www.ulusofona.pt



UNIVERSIDADE
LUSÓFONA

Centro Universitário de Lisboa
Faculdade de Educação Física e Desporto
Doutoramento em Educação Física e Desporto

**COMPRIMENTO RELATIVO DOS DEDOS COMO MARCADOR
DE DESENVOLVIMENTO BIOLÓGICO E DESEMPENHO
DESPORTIVO**

VERSÃO FINAL

Tese defendida por Vanda Cristina Bernardino Rosa em provas públicas na Universidade Lusófona, Centro Universitário de Lisboa, no dia 13 de abril de 2026, perante o júri, nomeado pelo Despacho de Nomeação n.º 71/2025, de 30 de janeiro, com a seguinte composição:

Presidente: Prof. Doutor Jorge Proença Martins (Professor Catedrático da FEFD – Universidade Lusófona).

Arguentes:

Prof. Doutor José António Ribeiro Maia (Professor Catedrático Jubilado da Universidade do Porto);

Prof.^a Doutora Sara Isabel Sampaio Pereira (Professora Auxiliar da Universidade do Porto).

Vogais:

Prof. Doutor António João Labisa da Silva Palmeira (Professor Catedrático da FEFD – Universidade Lusófona);

Prof. Doutor Luís Miguel Rosado da Cunha Massuça (Professor Associado da FEFD – Universidade Lusófona);

Prof. Doutor João Rafael Rodrigues Pereira (Professor Auxiliar da FEFD – Universidade Lusófona).

Orientador: Prof. Doutor João Alberto Valente dos Santos (Professor Associado da FEFD – Universidade Lusófona).

Este trabalho também foi orientado por Prof. Doutor Manuel João Cerdeira Coelho e Silva, Professor Catedrático da Universidade de Coimbra.

Vanda Cristina Bernardino Rosa, n.º 21803989
2026

Epígrafe

“O início da sabedoria é a admissão da própria ignorância. Todo o meu saber consiste em saber que nada sei.”

Sócrates

Agradecimentos

Um sincero agradecimento a todas as pessoas e instituições que tornaram possível a realização deste trabalho de doutoramento. Em primeiro lugar, expresso a minha profunda gratidão ao ilustre Professor Doutor Manuel João Coelho e Silva por se ter disponibilizado para me receber como sua discente, orientando-me ao longo deste desafiante percurso académico. O seu compromisso foi crucial para o sucesso deste trajeto académico. Agradeço também pela partilha do seu notável conhecimento, que não só enriqueceu este trabalho, mas também a minha formação.

Expresso também a minha profunda gratidão pela dedicada orientação do Professor Doutor João Valente dos Santos. Mesmo nos momentos mais desafiadores a sua compreensão, generosidade e paciência foram notáveis, sendo um exemplo de integridade e inspiração. De facto, não partilhou apenas a sua vasta sabedoria, como também desempenhou um papel fundamental no meu crescimento pessoal, apoiando-me nos momentos mais difíceis. A sua dedicação e incansável disponibilidade foram verdadeiramente inestimáveis, e estou profundamente grata por ter tido a oportunidade e o privilégio de ser orientada por tão notável ser humano.

Agradeço ao Professor Doutor André Rebelo pela colaboração e incentivo que me prestou durante os últimos meses desta tese. A sua prontidão para responder às minhas questões e o seu enormíssimo conhecimento foram, para mim, uma verdadeira fonte de motivação, contribuindo significativamente para o progresso e conclusão deste projeto.

Agradeço ao Mestre João Cruz, meu amigo de longa data, pela valiosa assistência na análise estatística. Passamos inúmeras tardes e noites a discutir as análises dos estudos. A sua disponibilidade, paciência e carinho foram extraordinários.

Aos colegas de curso, em especial ao João Faria e Tarcísio Lima, o meu reconhecimento por partilharem as suas ideias e sapiência ao longo destes anos. As vossas contribuições e amizade foram imensuráveis.

Aos meus amigos, agradeço pelo apoio constante, motivação e compreensão ao longo deste percurso. As vossas palavras de incentivo foram um alicerce fundamental para a conclusão deste trabalho.

Por último, mas não menos importante, um muito obrigado em particular à minha família, em especial à minha mãe e ao meu marido. À minha mãe, Irene Bernardino, agradeço pelo tempo que dedicou a apoiar a minha filha Maria Miguel, para que eu tivesse a oportunidade de escrever e concluir esta tese. Ao meu marido Marco António Loureiro, peço desculpa pelas horas que deveríamos ter passado juntos e não pudemos. O teu incondicional apoio, compreensão e carinho foram essenciais. Agradeço também à minha princesa Maria Miguel, que nasceu durante esta caminhada. Embora tenha trazido desafios, a sua presença trouxe um amor verdadeiro e inesgotável. Amo-vos muito.

Este doutoramento representa um marco significativo no meu percurso de vida e na minha evolução académica e estou profundamente grata por todas as contribuições e apoio ao longo deste caminho. Muito, muito obrigada a todos.

Resumo

A presente investigação tem como propósito analisar o potencial do rácio 2D:4D enquanto biomarcador putativo de sucesso competitivo em jovens atletas, recorrendo a uma abordagem metodológica estruturada em quatro estudos complementares. O primeiro estudo, de natureza sistemática, constitui um exercício de síntese crítica da literatura científica, centrando-se na relação entre o rácio 2D:4D, a aptidão física e o desempenho desportivo. Para além da identificação dos principais achados, são evidenciadas limitações metodológicas recorrentes, nomeadamente a heterogeneidade dos procedimentos, a subjetividade na medição dos comprimentos digitais e a reduzida dimensão amostral, justificando novas direções de investigação.

Os três estudos subsequentes, de natureza quasi-experimentais, incidem progressivamente sobre variáveis morfológicas e funcionais associadas ao desempenho motor e à performance desportiva. Desenvolvidos em diferentes grupos de jovens atletas, estes estudos exploram a associação entre os comprimentos digitais e os rácios dos dedos, com especial enfoque no rácio 2D:4D. Os resultados obtidos indicam que, em diversas modalidades, os atletas tendem a apresentar rácios 2D:4D significativamente mais baixos do que os não atletas, independentemente do sexo.

No contexto do futebol juvenil, verificou-se que os jogadores pertencentes a equipas de elite regional apresentam rácios inferiores aos observados em atletas de equipas locais. No hóquei em patins, rácios mais baixos foram associados a melhor capacidade aeróbia, resistência e eficiência cardiorrespiratória. Estes resultados sustentam a hipótese de que um rácio 2D:4D reduzido poderá refletir uma maior exposição pré-natal à testosterona, fator potencialmente associado a vantagens atléticas. Conclui-se que o rácio 2D:4D poderá constituir uma variável complementar de interesse no âmbito da identificação e desenvolvimento de talento desportivo, oferecendo aos treinadores e profissionais das ciências do Desporto uma ferramenta adicional no processo de identificação e captação de jovens atletas com potencial para integrar estruturas de alto rendimento.

Palavras-chave: Desporto juvenil, rácio 2D:4D, biomarcadores, testosterona pré-natal, desempenho funcional, identificação de talento.

Abstract

The present thesis aims to examine the potential of the 2D:4D ratio as a putative biomarker of competitive success in youth athletes, through a methodological framework structured around four complementary studies. The first study, of a systematic nature, constitutes a critical synthesis of the scientific literature, focusing on the relationship between the 2D:4D ratio, physical fitness, and sports performance. In addition to identifying the main findings, recurrent methodological limitations are highlighted, namely procedural heterogeneity, subjectivity in digit length measurement, and small sample sizes, thereby justifying new research directions.

The three subsequent studies, quasi-experimental in nature, progressively address morphological and functional variables associated with motor performance and sport-specific capacity. Conducted across different groups of youth athletes, these studies explore the association between digit lengths and finger ratios, with particular emphasis on the 2D:4D ratio. The results indicate that, across various sports, athletes tend to exhibit significantly lower 2D:4D ratios than non-athletes, regardless of sex.

In the context of youth football, players from regional elite teams were found to have lower ratios compared to those from local-level teams. In roller hockey, lower 2D:4D ratios were associated with superior aerobic capacity, endurance, and cardiorespiratory efficiency. These findings support the hypothesis that a reduced 2D:4D ratio may reflect higher prenatal testosterone exposure, a factor potentially linked to athletic advantages. It is concluded that the 2D:4D ratio may represent a complementary variable of interest in the identification and development of sporting talent, offering coaches and sport science professionals an additional tool in the process of scouting and recruiting young athletes with potential to integrate high-performance structures.

Keywords: Youth sport, 2D:4D ratio, biomarkers, prenatal testosterone, functional performance, talent identification.

Lista de abreviaturas

17β-OHD	17 β - hidroxisteroide-desidrogenase
1D	Primeiro dedo
1D:2D	Rácio entre o comprimento do primeiro dedo e o segundo dedo
1D:3D	Rácio entre o comprimento do primeiro dedo e o terceiro dedo
1D:4D	Rácio entre o comprimento do primeiro dedo e o quarto dedo
1D:5D	Rácio entre o comprimento do primeiro dedo e o quinto dedo
2D	Segundo dedo
2D:3D	Rácio entre o comprimento do segundo dedo e o terceiro dedo
2D:4D	Rácio entre o comprimento do segundo dedo e o quarto dedo
2D:5D	Rácio entre o comprimento do segundo dedo e o quinto dedo
3D	Terceiro dedo
3D:4D	Rácio entre o comprimento do terceiro dedo e o quarto dedo
3D:5D	Rácio entre o comprimento do terceiro dedo e o quinto dedo
4D	Quarto dedo
4D:5D	Rácio entre o comprimento do quarto dedo e o quinto dedo
5D	Quinto dedo
ADN	Ácido desoxirribonucleico
AMH	Hormona anti mülleriana
AR	Androgénio
Ars	Recetores androgénicos
CAG	Citosina, Adenina, Guanina
CD	Disco compacto
DHEA	Desidroepiandrosterona
DHT	Di-hidrotestosterona
E	Estrogénio
ECTO	Ectomorfismo
ER	Recetores de estrogénio
FE	Estrogénio pré-natal
FPM	Força de preensão manual
FT	Testosterona pré-natal
GnRH	Hormona libertadora de gonadotrofinas
HAC	Hiperplasia adrenal congénita
hCG	Gonadotrofina coriónica humana

LH	Hormona luteinizante
MC	Massa corporal
ARNm	Ácido ribonucleico mensageiro
MVE	Massa ventricular esquerda
PICO	População, Intervenção, Comparação e Resultados
PRISMA	Principais itens para reportar Revisões sistemáticas e Meta-análises
SNC	Sistema nervoso central
T	Testosterona
TGF	Fator de transformação de crescimento
VO₂ pico	Pico de consumo de oxigénio
VO₂máx	Consumo máximo de oxigénio

Índice geral

Introdução	16
1. Introdução	17
1.1. Objetivos da tese.....	18
1.2. Estrutura da tese e visão geral dos capítulos	19
Capítulo 1	22
1. Enquadramento Teórico	23
1.1. Esteróides sexuais pré-natais.....	23
1.1.1. Androgénios.....	24
1.1.2. Estrogénio.....	24
1.1.3. Diferenciação sexual e início da produção da testosterona.....	25
1.1.4. Efeitos fisiológicos mediados pelo recetor de androgénio.....	26
1.1.5. Ligação do recetor de androgénio ao DNA.....	27
1.1.6. Efeitos fisiológicos dos Recetores de Andrógenos nas células ósseas.....	28
1.1.7. Fatores que controlam a expressão do recetor de andrógenos e a função dos osteoblastos.....	29
1.2. Rácio 2D:4D.....	30
1.2.1. Rácio 2D:4D e as hormonas esteroides sexuais pré-natais.....	31
1.2.2. Relação entre o rácio 2D:4D e os níveis de esteróides.....	33
1.2.3. Mecanismos fisiológicos na relação entre o rácio 2D:4D e hormonas sexuais.....	34
1.3. Rácio 2D:4D e o desporto: implicações e relações.....	35
1.3.1. Relação entre o rácio 2D:4D e o desporto infantojuvenil.....	37
1.3.2. Correlação entre o rácio 2D:4D e o desempenho $VO_{2\text{máx}}$	38
1.3.3. Impacto do rácio 2D:4D na força muscular.....	40
1.3.4. Correlação entre o rácio 2D:4D e comportamento agressivo no desporto.....	42
1.4. Referências bibliográficas.....	44
Capítulo 2.....	55
2. Métodos.....	56
2.1. Revisão Sistemática de Literatura.....	56
2.2. Estudos Quase-experimentais.....	57
2.2.1. Participantes.....	58

2.2.2. Antropometria.....	58
2.2.3. Medição dos dedos.....	59
2.2.4. Morfologia cardíaca.....	60
2.2.5. Composição corporal.....	61
2.2.6. Testes de força.....	62
2.2.7. Testes de corrida.....	63
2.3. Análise estatística.....	64
Capítulo 3.....	66
3.1. Estudo 1 - Associação entre o rácio 2D:4D e o desempenho desportivo em atletas. Uma revisão sistemática e meta-análise.....	67
3.1.1. Resumo.....	68
3.1.2. Introdução.....	69
3.1.3. Métodos.....	70
3.1.4. Resultados.....	75
3.1.5. Discussão.....	119
3.1.6. Conclusão.....	126
3.1.7. Referências bibliográficas.....	127
3.2. Estudo 2 - Dígitos da Mão e Descritores de Tamanho Corporal no Jovem Atleta: O Efeito da Idade.	138
3.2.1. Resumo.....	139
3.2.2. Introdução.....	139
3.2.3. Métodos.....	141
3.2.4. Resultados.....	143
3.2.5. Discussão.....	145
3.2.6. Conclusão.....	148
3.2.7. Referências bibliográficas.....	148
3.3. Estudo 3 - Relação entre a proporção de dígitos no futebol juvenil: comparações entre jogadores de elite e não-elite.....	153
3.3.1. Resumo.....	154
3.3.2. Introdução.....	154
3.3.3. Métodos.....	156
3.3.4. Resultados.....	158
3.3.5. Discussão.....	160
3.3.6. Conclusão.....	162

3.3.7. Referências bibliográficas.....	162
3.4. Estudo 4 - Rácio 2D:4D como preditor de variabilidade inter-individual em indicadores de antropometria e aptidão física em jogadores adolescentes de hóquei em patins.....	166
3.4.1. Resumo.....	167
3.4.2. Introdução.....	167
3.4.3. Métodos.....	169
3.4.4. Resultados.....	175
3.4.5. Discussão.....	177
3.4.6. Conclusão.....	181
3.4.7. Referências bibliográficas.....	182
Capítulo 4.....	188
4. Discussão Geral.....	189
4.1. Rácio 2D:4D em atletas e não atletas.....	189
4.2. Rácio 2D:4D e capacidade aeróbia.....	191
4.3. Rácio 2D:4D e força Muscular.....	192
4.4. Limitações.....	193
4.5. Orientações para futuras investigações.....	194
4.6. Aplicações práticas.....	195
4.7. Referências bibliográficas.....	196
Conclusão.....	199
1. Conclusão.....	200
Referências Bibliográficas.....	202
1. Referências bibliográficas.....	203
Apêndices e Anexos.....	223
1. Apêndices e Anexos.....	224

Índice tabelas

Tabela 1. Métodos estatísticos utilizados nos estudos.....	65
Tabela 2. Resumo de estudos com amostra exclusiva de atletas (n=42).....	77
Tabela 3. Distribuição dos Estudos por Categoria Demográfica, Mão Avaliada, Método de Avaliação e Modalidade Desportiva (n=42).....	97
Tabela 4. Resumo de estudos com amostra de atletas e controlo não atletas (n=25).....	98
Tabela 5. Distribuição dos Estudos por Categoria Demográfica, Mão Avaliada, Método de Avaliação e Modalidade Desportiva (n=25).....	111
Tabela 6. Resultados da avaliação da qualidade metodológica dos artigos com atletas.....	114
Tabela 7. Resultados da avaliação da qualidade metodológica dos artigos com grupo de atletas e grupo de controlo não atletas.....	115
Tabela 8. Estatística descritiva da antropometria para a amostra total de atletas adolescentes do sexo masculino de diversas modalidades desportivas (n = 434).....	143
Tabela 9. Estatística descritiva dos dígitos para a amostra total de atletas adolescentes do sexo masculino de diversas modalidades (n = 434).....	143
Tabela 10. Estatística descritiva do rácio dos dígitos para a amostra total entre atletas adolescentes do sexo masculino de diversas modalidades (n = 434).....	144
Tabela 11. Correlação bivariada entre as razões derivadas de dígitos da mão e descritores de tamanho corporal sem remover o efeito da idade cronológica e coeficientes de correlação parcial controlando a idade cronológica entre atletas adolescentes do sexo masculino de diversas modalidades desportivas (n=434).....	144
Tabela 12. Média e desvio padro da idade cronológica e antropometria por nível competitivo entre jogadores de futebol adolescentes do sexo masculino (n=70).....	158
Tabela 13. Média e desvio padrão do comprimento dos dedos da mão esquerda por nível competitivo e comparações entre grupos em jogadores de futebol adolescentes do sexo masculino (n=70).....	159
Tabela 14. Média e desvio padrão do rácio derivado dos dígitos da mão esquerda por nível competitivo e comparação entre grupos em jogadores adolescentes de futebol, do sexo masculino (n=70).....	159
Tabela 15. Média e desvio padrão dos grupos contrastantes no rácio 2D:4D e comparação entre os grupos para tamanho corporal, proporcionalidade, massa ventricular esquerda e	

componentes somatótipos entre jogadores de hóquei adolescentes do sexo masculino (n=36).....175

Tabela 16. Média e desvio padrão para os grupos contrastantes no rácio 2D:4D e comparação entre os grupos para os componentes dos testes de força (tarefas de campo e dinamometria isocinética) entre jogadores de hóquei adolescentes do sexo masculino (n=36).....176

Tabela 17. Média e desvio padrão para os grupos contrastantes no rácio 2D:4D e comparação entre os grupos para testes de corrida utilizados para avaliar velocidade, desempenho aeróbio e aptidão aeróbia entre jogadores de hóquei do sexo masculino (n=36).....177

Índice de figuras

Figura 1. Regulação da Função Gonadal pelas Gonadotrofinas (Adaptado de Molina, 2018).....	26
Figura 2. Mecanismo da ligação da testosterona aos recetores de androgénios (Adaptado de Molina, 2018).....	27
Figura 3. Ontogenia do rácio 2D:4D. Diferença dimórfica no rácio 2D:4D entre mãos adultas masculinas (à esquerda) e femininas (à direita). O 4D é mais longo que o 2D no homem e mais curto na mulher.....	30
Figura 4. Relação entre a exposição hormonal embrionária e o comprimento dos dedos.....	32
Figura 5. Medição dos dedos da mão esquerda por meio de radiografia.....	59
Figura 6. Apresentação das características dos estudos incluídos na revisão de acordo com as diretrizes PICOS.....	71
Figura 7. Identificação dos estudos nas bases de dados segundo as diretrizes PRISMA..	76
Figura 8. Diagrama de floresta da diferença média padronizada global [95% CI] para cada estudo observacional, que avaliaram o 2D:4D da mão direita e esquerda em atletas e não atletas do sexo feminino.....	117
Figura 9. Diagrama de floresta da diferença média padronizada global [95% CI] para cada estudo observacional, que avaliaram o 2D:4D da mão direita e esquerda em atletas e não atletas do sexo masculino.....	118

Introdução

1. Introdução

A antropometria da mão começou a despertar interesse no início do século XIX, tendo desde então sido realizados estudos centrados nas suas medições. A partir de 1998 este campo ganhou um novo impulso com a publicação de um estudo que identificou o rácio entre o segundo e o quarto dedos (2D: 4D) como um possível biomarcador putativo da ação da testosterona fetal (Manning et al., 1998). Desde então, este indicador tem sido associado aos efeitos organizacionais da testosterona sobre a estrutura e funcionalidade de diversos sistemas do corpo humano, incluindo os sistemas cardiovascular, músculo-esquelético e nervoso central (Manning et al., 2014; Manning, Churchill, et al., 2007; Zheng & Cohn, 2011a). Estes avanços contribuíram para o crescente interesse no rácio 2D:4D como um marcador biológico com potencial aplicação em áreas como a saúde, a psicologia e, mais recentemente, o desempenho desportivo.

Neste contexto, destaca-se a publicação de Manning em 2001, “Second to fourth digit ratio and male ability in sport: implications for sexual selection in humans”, o primeiro estudo que procura estabelecer uma relação entre o rácio 2D:4D e a aptidão física em contexto desportivo. Este trabalho, desenvolvido com jogadores de futebol profissionais, revelou que os atletas apresentavam rácios 2D:4D significativamente mais baixos do que os indivíduos do grupo de controlo não atletas. Para além disso, foi observada uma associação entre rácios 2D:4D mais baixos e um desempenho desportivo superior.

Com base nestas evidências preliminares, e tendo em conta os avanços na compreensão do rácio 2D:4D enquanto potencial marcador biológico, esta tese propõe-se aprofundar a investigação da sua aplicabilidade no contexto do desporto juvenil de alto rendimento, explorando a sua utilidade como ferramenta complementar na identificação e desenvolvimento de talentos. O enunciado que fundamenta este trabalho desenvolve-se em torno das seguintes questões:

1. Será que o rácio 2D:4D pode ser considerado um biomarcador fiável para a identificação precoce de jovens talentos com elevado potencial para o desporto de elite?

2. Existem outros rácios digitais que possam igualmente ser considerados biomarcadores relevantes para o sucesso da aptidão física e do desempenho desportivo?
3. De que modo a idade cronológica influencia o comprimento dos dedos e os respetivos rácios digitais, nomeadamente o rácio 2D:4D?
4. Verificam-se diferenças significativas nos rácios digitais, em particular no 2D:4D, entre atletas de diferentes categorias competitivas?
5. De que forma o rácio 2D:4D se relaciona com indicadores específicos de aptidão física e de desempenho desportivo?

Estas questões orientadoras visam contribuir para uma compreensão mais detalhada da utilização do rácio 2D:4D (e de outros rácios digitais) como ferramenta de apoio na identificação e desenvolvimento de talentos no âmbito do desporto de alto rendimento.

1.1. Objetivos da tese

Tendo em conta o problema previamente identificado, esta tese propõe-se a investigar se o rácio 2D:4D pode ser considerado um biomarcador fiável na identificação precoce de jovens atletas com elevado potencial para o desempenho desportivo de elite, contribuindo assim para uma seleção mais informada e eficaz por parte de treinadores e preparadores físicos. O objetivo geral da investigação consiste em aprofundar o conhecimento sobre o potencial dos rácios dos dedos, em particular o rácio 2D:4D, enquanto possíveis biomarcadores putativos da testosterona pré-natal, associados ao sucesso competitivo em diferentes modalidades desportivas. Com vista a alcançar este objetivo foram conduzidos quatro estudos distintos, cada um abordando dimensões específicas do problema em análise:

O **Estudo 1** analisa a relação entre o rácio 2D:4D e parâmetros representativos da aptidão física e do desempenho desportivo em atletas de diferentes idades, níveis competitivos e modalidades desportivas. Esta revisão sistemática da literatura, com meta-análise, teve como principais objetivos identificar, selecionar e avaliar criticamente os estudos existentes, sintetizar os resultados disponíveis e analisar a qualidade metodológica das investigações incluídas, com o propósito de identificar lacunas no conhecimento atual.

O **Estudo 2** centra-se em atletas jovens, oferecendo uma avaliação antropométrica e uma análise das medidas digitais e dos respetivos rácios da mão esquerda, num conjunto de 434 jovens praticantes de desporto nas seguintes modalidades: basquetebol, futebol, hóquei em patins, andebol, natação e ténis. Para além de uma descrição pormenorizada destas medidas, o estudo tem como objetivo analisar o comportamento dos rácios dos dígitos em relação ao tamanho corporal, considerando a presença ou não da variável idade cronológica.

O **Estudo 3** analisa a relação entre os comprimentos dos dedos, os rácios digitais e o nível competitivo em jogadores de futebol. A investigação incluiu atletas classificados como pertencentes ao escalão de elite e não elite, com o objetivo de explorar possíveis diferenças entre grupos e contribuir para a compreensão do potencial dos rácios, nomeadamente o rácio 2D:4D, enquanto indicador associado ao alto nível de desempenho desportivo.

O **Estudo 4** explora a relação entre o rácio 2D:4D e um conjunto de variáveis morfológicas, fisiológicas e de desempenho físico em jovens atletas de hóquei em patins. A amostra foi estratificada em dois grupos contrastantes, com base em rácios 2D:4D altos e baixos, com o objetivo de analisar diferenças significativas em parâmetros como a estatura e massa corporal, índices de proporcionalidade, massa do ventrículo esquerdo, componentes do somatótipo, bem como em indicadores de força muscular e desempenho aeróbio e anaeróbio. Este estudo pretende contribuir para o aprofundamento do conhecimento sobre o potencial do rácio 2D:4D enquanto biomarcador putativo da testosterona pré-natal, no contexto do desporto juvenil de alto rendimento.

1.2. Estrutura da tese e visão geral dos capítulos.

A tese está organizada em introdução, quatro capítulos, sendo cada um deles dedicado a um propósito específico na construção e desenvolvimento da narrativa científica, seguida da conclusão e apêndices e anexos.

A **Introdução** estabelece as bases do trabalho, apresentando o problema de investigação, os temas e as questões específicas a explorar, a relevância do estudo no contexto da atividade física e do desporto, bem como os objetivos gerais da pesquisa.

O Capítulo 1 – **Enquadramento Teórico** – desempenha um papel fundamental no desenvolvimento deste estudo, fornecendo a base conceptual que sustenta a tese. A sua principal função é contextualizar o problema de investigação à luz do conhecimento científico existente, permitindo identificar a principal teoria, os modelos explicativos, e os conceitos-chave, servindo assim como suporte teórico para os estudos subsequentes. Além disso, este capítulo facilita a identificação de lacunas, limitações ou inconsistências nos estudos prévios, o que reforça a pertinência e relevância da investigação.

O Capítulo 2 – **Métodos** – apresenta de forma clara, rigorosa e fundamentada os procedimentos metodológicos adotados nos quatro estudos. Com o objetivo de garantir a transparência e replicabilidade dos estudos, são detalhados os métodos utilizados para a seleção dos participantes, os testes e instrumentos de recolha de dados, bem como os métodos de análise. Assim, é explicado como cada investigação foi desenhada e implementada, assegurando a obtenção de resultados válidos e fiáveis.

O Capítulo 3 – **Estudos** – assume um papel central na presente tese, ao apresentar os quatro artigos científicos originais desenvolvidos no âmbito desta investigação. Apesar de cada estudo abordar uma vertente específica da temática, todos se articulam de forma coerente, contribuindo para aprofundar o conhecimento sobre o rácio 2D:4D. As análises incidem sobre esta variável em jovens atletas, de forma isolada, assim como na sua relação com componentes da aptidão física e do desempenho desportivo. Esta abordagem integrada permite responder de forma abrangente às principais questões delineadas, reforçando a relevância e a originalidade da investigação conduzida.

O Capítulo 4 – **Discussão** – analisa e interpreta de forma integrada os principais resultados obtidos nos quatro estudos, estabelecendo a sua correspondência com as questões de investigação e os objetivos previamente definidos no Capítulo I. Para além da análise crítica dos dados, este capítulo aborda as limitações metodológicas identificadas, enquadrando os resultados no panorama científico atual. Por fim, são apresentadas recomendações para futuros estudos, bem como reflexões sobre as possíveis aplicações práticas das evidências reunidas.

Seguidamente, a **Conclusão** que sintetiza os principais resultados, evidenciando os contributos da investigação para o aprofundamento do conhecimento sobre o rácio 2D:4D em jovens atletas. Destacam-se também as implicações práticas e teóricas dos resultados,

com ênfase no desenvolvimento de estratégias de avaliação orientadas para a identificação e promoção de talento desportivo.

As **Referências Bibliográficas** apresentam todas as fontes consultadas e citadas ao longo da tese, assegurando o rigor científico e permitindo a verificação e aprofundamento dos conteúdos abordados.

Por último, os **Apêndices e Anexos** que reúne materiais complementares aos Estudos 1 e 3, incluindo a lista PRISMA 2020, os questionários, as bases de dados e outros elementos relevantes utilizados ao longo dos estudos, bem como a apresentação em formato de cartaz exibida no Congresso Europeu de Futebol 2023. Este capítulo tem como objetivo fornecer ao leitor acesso direto a informações suplementares que sustentam as análises e conclusões apresentadas na tese, contribuindo para a transparência e para uma melhor compreensão dos métodos e resultados.

Capítulo 1

1. Enquadramento teórico

O objetivo deste capítulo é fornecer uma base sólida para a compreensão dos conceitos e teorias fundamentais que sustentam esta tese. Para abordar a relação entre o rácio 2D:4D, a aptidão física e o desempenho desportivo é essencial explorar estes temas de forma sistemática. Este capítulo inicia-se com a descrição dos esteróides sexuais pré-natais e dos seus efeitos fisiológicos. De seguida, é abordado o conceito de rácio 2D:4D, bem como a sua associação com as hormonas esteróides sexuais pré-natais. Por fim, o capítulo conclui com uma discussão sobre a relação entre o rácio 2D:4D e o desporto infantojuvenil, destacando o seu papel em determinadas componentes da aptidão física e do desempenho desportivo. Em conjunto, estes temas fornecem o enquadramento teórico necessário para contextualizar a investigação apresentada nesta tese.

1.1. Esteróides sexuais pré-natais

Os primeiros acontecimentos da vida, especialmente aqueles que ocorrem durante o desenvolvimento fetal no útero materno, desempenham um papel crucial na modelação do fenótipo do indivíduo. Este processo, conhecido como programação do desenvolvimento ou programação fetal, refere-se à forma como o ambiente intrauterino influencia de forma duradoura a fisiologia e o metabolismo do organismo (Godfrey et al., 2017; Hales & Barker, 2001).

Os sistemas endócrinos estão envolvidos em diversos processos fisiológicos durante o período pré-natal, incluindo a formação da placenta, a adaptação materna à gravidez e o desenvolvimento embrionário. Além disso, são determinantes no desencadeamento do parto e nas adaptações fisiológicas do período pós-natal. As hormonas regulam uma ampla variedade de funções essenciais, como a reprodução, o crescimento, o desenvolvimento, a manutenção da homeostasia e a gestão da utilização e do armazenamento de energia. Estudos realizados em modelos animais evidenciam que os esteróides sexuais — sobretudo os androgénios e os estrogénios — são fundamentais para a diferenciação sexual, tanto do corpo como do cérebro. Os seus efeitos classificam-se em organizacionais, quando permanentes e associados a fases críticas precoces do desenvolvimento; e em ativacionais, que ocorrem mais tarde, são transitórios, mas podem interagir ou sobrepor-se aos primeiros (Knickmeyer et al., 2005).

1.1.1. Androgénios

Os androgénios são hormonas sexuais predominantemente masculinas, produzidas maioritariamente nos testículos, mas também presentes em quantidades reduzidas nas mulheres. Os principais androgénios são a testosterona (T) e a desidroepiandrosterona (DHEA). A testosterona é sintetizada sob influência da hormona luteinizante (LH), cuja libertação é regulada pela hipófise em resposta à secreção pulsátil da hormona libertadora de gonadotrofinas (GnRH), produzida no hipotálamo (Molina, 2018).

Esta hormona está envolvida em diversos processos fisiológicos, incluindo o desenvolvimento embrionário das estruturas derivadas do ducto de Wolff, a atividade secretora pós-puberal, o crescimento da laringe e a mudança do timbre vocal na puberdade, a inibição do desenvolvimento mamário, os efeitos anabólicos sobre músculo e osso, a estimulação da eritropoiese e a regulação da espermatogénese (Molina, 2018; Vanderschueren et al., 2004).

Atualmente reconhece-se que os efeitos da testosterona vão além da reprodução e da manutenção do sistema reprodutor. A sua ação no metabolismo e na regulação do tecido ósseo, no funcionamento do coração, dos rins e dos músculos esqueléticos, bem como a sua influência no sistema imunitário e nas glândulas salivares, tem vindo a ser cada vez mais estudada (Manolagas et al., 2013; Mariotti & Mawhinney, 2013).

1.1.2. Estrogénio

Os estrogénios (E) são hormonas predominantemente femininas, responsáveis pela expressão do fenótipo feminino, incluindo características físicas, sexuais e comportamentais. São produzidos maioritariamente pelos folículos dos ovários, embora também se encontrem em quantidades reduzidas nos homens. A sua síntese depende da conversão de androgénios, que atuam como precursores hormonais. Assim, as mulheres produzem inicialmente androgénios que são subsequentemente aromatizados em estrogénios, um processo essencial na biossíntese hormonal feminina (Walters et al., 2008).

Os estrogénios exercem efeitos amplos e variados sobre múltiplos órgãos-alvo. Ao nível dos órgãos reprodutores — como o útero, os ovários e as glândulas mamárias — promovem a proliferação do endométrio, estimulam a atividade mitótica das células foliculares e favorecem o crescimento e a diferenciação do epitélio dos ductos. No fígado,

contribuem para a regulação de processos metabólicos, enquanto no sistema nervoso central (SNC) apresentam efeitos neuroprotetores (Molina, 2018).

A nível ósseo, os estrogénios exercem múltiplas funções ao longo do desenvolvimento. Durante a adolescência, estimulam a maturação esquelética e o encerramento das cartilagens de crescimento (placas epifisárias) nos ossos longos, o que marca o fim do crescimento longitudinal. Após a puberdade, contribuem para a conservação da massa óssea através de uma ação global antirreabsortiva (Molina, 2018). Este efeito é mediado pela inibição do remodelamento ósseo, garantindo o equilíbrio entre a formação e a reabsorção óssea. Para isso, os estrogénios modulam a atividade dos osteoclastos e osteoblastos: reduzem a sua formação e atividade funcional, incitam a síntese de osteoprotegerina e aumentam a apoptose dos osteoclastos (Irie et al., 2005; Molina, 2018).

1.1.3. Diferenciação sexual e início da produção da testosterona

A diferenciação das gónadas masculinas começa por volta da sexta semana de gestação. O primeiro sinal visível é o aparecimento das células precursoras de Sertoli, que se agrupam para formar os cordões seminíferos. Estes cordões são depois infiltrados por células germinativas primordiais (Molina, 2018). Por volta da nona semana, o tecido entre os cordões dá origem a células intersticiais, que se transformam em células de Leydig — responsáveis pela produção de esteróides (Molina, 2018).

Acredita-se que a gonadotrofina coriónica humana (hCG), uma hormona produzida pela placenta, seja a responsável por ativar inicialmente as células de Leydig. Assim, no início da gestação, a esteroidogénese testicular fetal é controlada pela hCG. Mais tarde, entre a 14.^a e a 16.^a semanas, esse controlo passa a ser feito pela hormona luteinizante (LH) (Molina, 2018). Com isso, a produção de testosterona fetal aumenta. Este aumento estimula a multiplicação das células de Leydig, a produção de enzimas envolvidas na síntese de esteróides (como a 3β -hidroxiesteróide desidrogénase e a 17α -hidroxilase) e a expressão do recetor de androgénios nos tecidos-alvo (Figura 1) (Molina, 2018).

A diferenciação sexual externa — ou seja, a formação da genitália masculina — ocorre no final do terceiro trimestre. Depende quase exclusivamente da presença de hormonas masculinas, que são suficientes para promover a masculinização do embrião (Molina, 2018). Durante esta fase crítica, a testosterona e a hormona anti-mülleriana (AMH) garantem o desenvolvimento do sexo masculino (Molina, 2018).

O primeiro grande pico de produção de testosterona ocorre entre a 10.^a e a 18.^a semanas de gestação. Depois desse período os níveis de testosterona diminuem. Esta redução pode estar relacionada com o aumento da sensibilidade do eixo hipotálamo-hipófise ao *feedback* negativo, ao aumento dos esteróides placentários e à maior produção de prolactina (McIntyre, 2006).

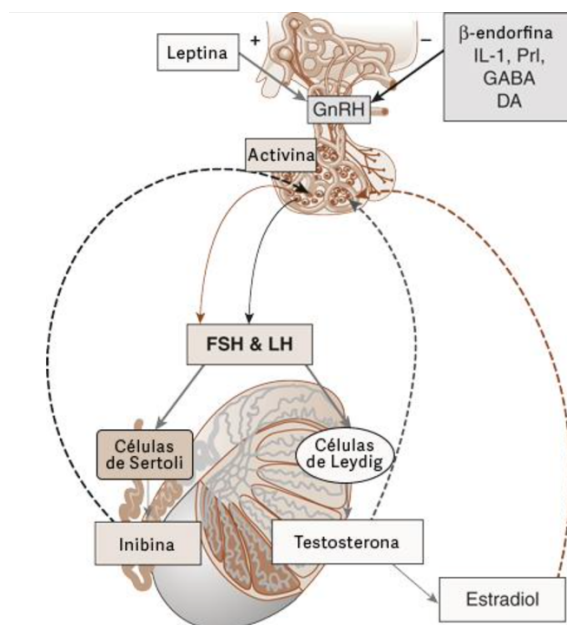


Figura 1. Regulação da Função Gonadal pelas Gonadotrofinas (Adaptado de Molina, 2018).

1.1.4. Efeitos fisiológicos mediados pelo recetor de androgénio

O recetor de androgénio (AR) pertence à família dos recetores nucleares. Como os outros recetores dessa família, o AR tem três domínios funcionais: um para ligar ao ADN, outro para ligar à hormona e outro para controlar a regulação da transcrição dos genes.

A testosterona entra na célula por difusão passiva e liga-se ao AR. Dentro da célula, a testosterona pode ser convertida em di-hidrotestosterona (DHT) pela enzima 5 α -redutase. A DHT liga-se também ao AR. Alternativamente, a testosterona pode ser convertida em 17 β -estradiol pela aromatase. O estradiol pode agir localmente em células próximas, através de um mecanismo parácrino, e pode entrar na circulação sanguínea ou ligar-se aos recetores de estrogénio (ER α ou β) na célula onde foi produzido (Molina, 2018).

Dentro da célula, a testosterona pode ainda ser produzida a partir de outras moléculas como androstenediona, DHEA, ou DHEAS (Molina, 2018). A DHEA, após

perder o grupo sulfato, é transformada em androstenediona pela enzima 3 β -hidroxiesteroide-desidrogenase (3 β -OHD), que depois é convertida em testosterona pela 17 β -hidroxiesteroide-desidrogenase (17 β -OHD) (Molina, 2018).

A testosterona, a DHT e o estradiol ligam-se a recetores de esteróides presentes no citosol da célula. O AR e o ER estão ligados a proteínas reguladoras chamadas proteínas de choque térmico. Quando a hormona se liga ao recetor, essas proteínas dissociam-se, o recetor forma um dímero, desloca-se para o núcleo e liga-se ao ADN em locais específicos. Este processo ativa ou inibe a transcrição de genes, regulando várias funções celulares (Figura 2) (Molina, 2018).

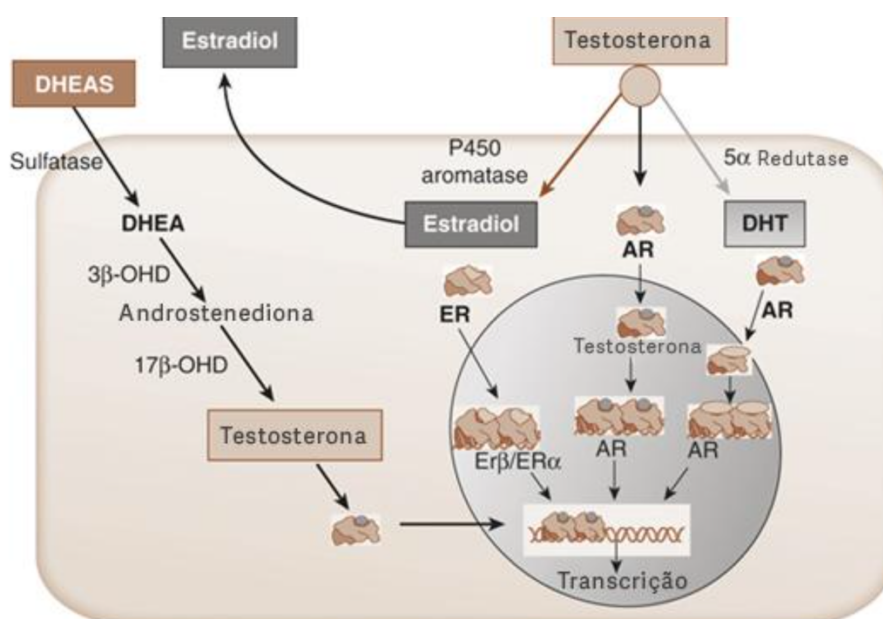


Figura 2. Mecanismo da ligação da testosterona aos recetores de androgénios (Adaptado de Molina, 2018).

1.1.5. Ligação do recetor de androgénio ao ADN

O AR liga-se ao cromossoma X e codifica uma proteína recetora que possui, como referido anteriormente, três domínios funcionais: o domínio de ligação hormonal C-terminal, que ajuda na especificidade do ligante (é codificado pelo exon um, que inclui as repetições citosina, adenina, guanina (CAG) altamente polimórficas); o domínio central de ligação ao ADN que se liga a genes-alvo responsivos a andrógenos (exons dois e três); o domínio N-terminal que influencia a eficiência da transcrição da hormona esteróide (exons quatro a oito). O domínio terminal tem um microssatélite CAG fortemente polimórfico que codifica repetições de glutamina de comprimento variável (Zitzmann,

2009). O comprimento da repetição é normalmente distribuído, e varia de 11 a 30 repetições com uma média de 20 a 22 triplete de CAG. O número de repetições CAG não altera a ligação da testosterona ao recetor, mas afeta a ligação do complexo recetor hormonal ao ADN (Manning et al., 2003). Repetições CAG curtas (<10) fazem com que o AR aumente a sua atividade. Em contraste, a expansão da repetição CAG (>40) leva a um nível de atividade do AR abaixo do normal. Assim, o comprimento do CAG está negativamente relacionado à sensibilidade à testosterona (Zitzmann et al., 2009).

1.1.6. Efeitos fisiológicos dos recetores de andrógenos nas células ósseas

Os recetores androgénicos (ARs) estão presentes nos três tipos de células ósseas: osteoblastos, osteoclastos e osteócitos. São semelhantes a outros recetores de esteróides (estrogénio, progesterona, mineralocorticóide e glicocorticóide), e estão localizados principalmente dentro do núcleo. Apresentam maior expressão nos osteoblastos, sobretudo no local de formação, com maior proporção no osso cortical que no esponjoso, e existem em maior quantidade no osso jovem. No núcleo, os ARs são responsáveis pela transcrição genómica clássica do ácido ribonucleico mensageiro (ARNm) dos osteoblastos. Quando o complexo do AR é ativado, parte da proteína é libertada para formar um homodímero, ou possivelmente heterodímero, devido à existência de duas isoformas de recetores de androgénios proteicos em células semelhantes a osteoblastos. Modulado por vários co-ativadores e co-repressores, o AR liga-se ao ADN, influenciando a transcrição e a tradução dos genes que regulam a função dos osteoblastos. Pode-se afirmar que existem muitos recetores (AR e ER) nos osteoblastos, indicando o duplo papel de T e E na fisiologia normal do osso (Notelovitz, 2002). Os recetores androgénicos também são encontrados nas células da medula óssea que regulam a osteoclastogénese e os osteócitos que se encontram dentro da mesma. A regulação dos esteróides sexuais da função dos osteoclastos é controlada principalmente por E e por ER. No entanto, a T surge de forma indireta através do processo de aromatização para formar o E. A comprovar este processo verifica-se que os homens que apresentam mutações nos recetores de estrogénio, ou no gene aromatase, desenvolvem osteoporose, sendo ilustrativa a importância potencial da conversão de T em E nos ossos (Notelovitz, 2002).

1.1.7. Fatores que controlam a expressão do recetor de andrógenos e a função dos osteoblastos

1.1.7.1. Proliferação de osteoblastos

Os recetores de andrógenos no osso são ativados por andrógenos, glicocorticóides, estrogénios e pela forma ativa da vitamina D (1,25-dihidroxitamina D3). Em condições experimentais, os andrógenos promovem a proliferação dos osteoblastos. No entanto, uma exposição prolongada a andrógenos pode ter o efeito oposto e inibir significativamente essa proliferação (Notelovitz, 2002).

1.1.7.2. Diferenciação osteoblástica

A exposição a androgénios promove a diferenciação dos osteoblastos e estimula a síntese de proteínas da matriz extracelular, como o colagénio tipo I, a osteocalcina e a osteonectina. Este processo está associado a um aumento dose-dependente da atividade da fosfatase alcalina específica do osso. Além disso, os androgénios favorecem a mineralização da matriz, desempenhando um papel fundamental na sua regulação, organização e produção (Notelovitz, 2002).

1.1.7.3. Microambiente ósseo

Os androgénios regulam a função das células ósseas através de mecanismos locais e sistémicos que afetam o microambiente ósseo. Têm um impacto significativo sobre o TGF- β , um dos principais mitógenos dos osteoblastos, que é armazenado no osso na sua forma latente. Além disso, estimulam a atividade de outros fatores de crescimento, como o FGF e o IGF-II, especialmente através da ação do DHT. Paralelamente, os androgénios (T, DHT, DHEA) inibem a formação de osteoclastos ao reduzir a produção de IL-6 nas células do estroma da medula óssea, o que limita a maturação dos seus precursores. Também modulam a atividade osteoclástica ao interferir com a ação da hormona paratiróide e da IL-1, especialmente sob estímulo da prostaglandina E2. Segundo Notelovitz (2002) os esteróides sexuais participam diretamente na regulação da osteogénese, do metabolismo e da função muscular, sendo essenciais para a manutenção da massa óssea e muscular, tanto de forma direta como por conversão em estrogénios (Notelovitz, 2002).

1.2. Rácio 2D:4D

As diferenças entre fenótipo masculino e feminino, nomeadamente no que respeita às mãos humanas, tem suscitado o interesse da comunidade científica nas últimas décadas. O comprimento dos dedos, mais especificamente o segundo (2D) e o quarto (4D), é conhecido como sendo característico de dimorfismo sexual. Verifica-se que os homens apresentam o quarto dedo mais comprido que o segundo dedo (característica masculina); enquanto as mulheres apresentam um segundo dedo mais comprido ou igual ao quarto dedo (Figura 3). No entanto, a expressão que melhor descreve a relação entre o comprimento dos segundo e quarto dedos, é dada pelo rácio 2D:4D. Neste sentido, os indivíduos do sexo masculino têm, tendencialmente, uma proporção de dígitos mais baixa do que as mulheres (homens 2D:4D < mulheres 2D:4D) (Manning, 2002).

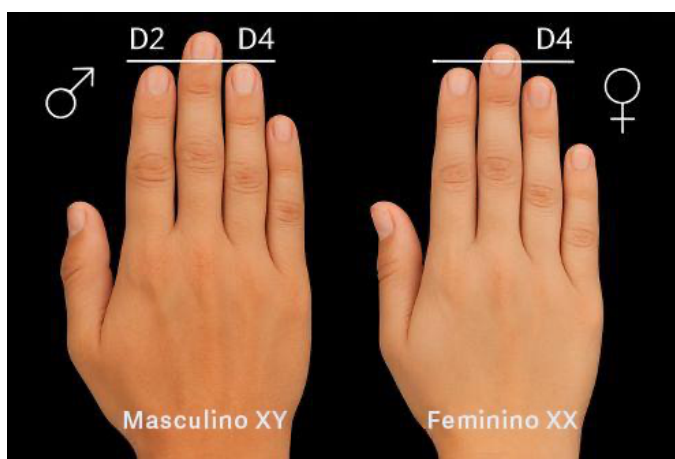


Figura 3. Ontogenia do rácio 2D:4D. Diferença dimórfica no rácio 2D:4D entre mãos adultas masculinas (à esquerda) e femininas (à direita) (Zheng & Cohn, 2011).

A temática da antropometria da mão suscitou interesse no início no século XIX. Alexander Ecker (1875) relatou a existência de três modelos, relativamente ao comprimento do 2º e do 4º dedos das mãos: i) o 2º dedo era mais curto que o quarto ($2D < 4D$); ii) o 2º e o 4º apresentavam o mesmo comprimento ($2D = 4D$); iii) o 2º dedo era mais comprido que o quarto ($2D > 4D$). Posteriormente várias teorias e fórmulas foram apresentadas, mas foi o Dr. V. Rae Phelps (1952), com especial interesse nesta matéria, que efetuou um estudo cujo objetivo principal era verificar as variações existentes no comprimento relativo do 2º dedo, sendo considerado normal, e como estas ocorrem na população. Avaliou a mão esquerda de 284 indivíduos, 189 homens e 95 mulheres, concluindo que $2D < 4D$ é mais frequente nos homens, que $2D > 4D$ é mais comum nas

mulheres; e que as variações dos comprimentos dos dígitos são independentes do comprimento dos metacarpos e da constituição geral do corpo (Phelps, 1952). Contudo foi John Manning (1998), alertado para a possível pertinência deste tema, e tendo como base o trabalho de Phelps, que acabou por fomentar o interesse no rácio 2D:4D, até então uma mera curiosidade. O primeiro estudo que gerou verdadeiro interesse na comunidade científica, e que colocou o 2D:4D na categoria de biomarcador putativo da ação da testosterona fetal e dos seus efeitos organizacionais, foi de John Manning, juntamente com Scutt, Wilson e Lewis-Jones, com o título de “The ratio of 2nd to 4th digit length: a predictor of sperm numbers and concentrations of testosterone, luteinizing hormone and oestrogen”, em 1998. Aferiram que o 2D:4D estava relacionado com altos níveis de espermatozóides, ao analisar o seu número, motilidade e velocidade em 67 homens (Manning et al., 1998). Foi a partir deste influente artigo que se concluiu que o quociente, ou rácio, entre o comprimento dos dedos está associado aos níveis pré-natais de testosterona e estrogénio; podendo, deste modo, ser um possível indicador de tais níveis durante o período fundamental da organização, estrutura e definição de funções de vários sistemas corporais, incluindo os sistemas cardiovascular, músculo-esquelético e nervoso central (Manning et al., 2014; Manning, Churchill, et al., 2007; Zheng & Cohn, 2011b).

1.2.1. Rácio 2D:4D e as hormonas esteroides sexuais pré-natais

É precisamente através do desenvolvimento do sistema esquelético, postulado por vários autores, que permite a existência de uma relação entre o comprimento dos dedos das mãos e a quantidade de esteróides sexuais a que o embrião foi exposto (Brown, Hines, et al., 2002; Fink et al., 2004; Manning et al., 2000a; McFadden & Shubel, 2002a; Voracek et al., 2005). De uma forma mais específica Manning (1998) preconiza que apesar da influência dos esteróides sexuais se manifestar no comprimento dos cinco dedos das mãos, será ao nível do comprimento do 2º dedo (2D) e do 4º dedo (4D), respetivamente, que os efeitos provocados pela influência da exposição das hormonas fetais se manifestam. Sugere, desse modo, que o rácio 2D:4D possa ser considerado um biomarcador putativo dos níveis pré-natais de testosterona e de estrogénio. A partir desse momento tem-se defendido que o 2D:4D tende a correlacionar-se negativamente com os níveis pré-natais de testosterona, e positivamente com os níveis de estrogénio; estabelecendo-se, desse modo, valores típicos ou padrões de 2D:4D mais “masculinizados” no primeiro caso, e mais “feminizados” no segundo caso (Manning,

2002; J. Manning & Bundred, 2000; Manning & Fink, 2018b). Isto é, perante uma exposição do embrião a níveis elevados de testosterona, o quarto dedo tende a crescer mais do que o segundo e, consequentemente, o rácio tenderá a ser menor do que a unidade; inversamente, na exposição do embrião a níveis elevados de estrogénio, o segundo dedo tenderá a crescer mais ou de forma igual ao quarto dedo e, consequentemente, o rácio irá ser maior ou igual à unidade (Figura 4) (Brown, Finn, et al., 2002; Manning, 2002; McFadden & Shubel, 2002a; Peters et al., 2002).

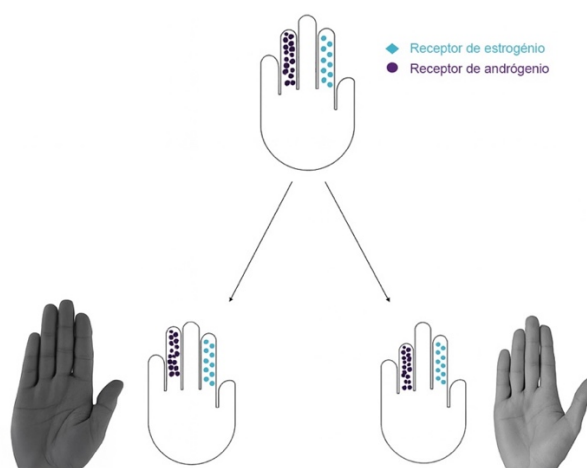


Figura 4. Relação entre a exposição hormonal embrionária e o comprimento dos dedos.

Partindo deste pressuposto, infere-se que, sendo os embriões e fetos masculinos mais expostos a níveis mais elevados de testosterona, os homens tendencialmente exibirão valores de 2D:4D inferiores à unidade e, simetricamente, as mulheres tenderão a revelar valores de 2D:4D iguais ou superiores à unidade. Relação esta que, a ser verificada, coloca o rácio, entre o comprimento desses dois dedos (2D:4D) na área de estudos sobre os efeitos putativos de esteróides sexuais pré-natais (Fusar-Poli et al., 2021; Manning et al., 2006; Voracek & Loibl, 2009).

A literatura existente indica que o rácio 2D:4D surge no período de vida intra-uterino e encontra-se em fetos desde o final do primeiro trimestre (Manning et al., 2014a). Observa-se em crianças a partir dos dois anos, mantendo-se relativamente estável ao longo do crescimento pós-natal, independentemente da idade (Manning & Fink, 2018a; Manning et al., 1998). No entanto, é difícil medir o efeito dos esteróides sexuais pré-natais, nomeadamente da testosterona pré-natal (FT) e do estrogénio pré-natal (FE) em 2D:4D, nos humanos, devido a restrições éticas e morais. A existência de correlações

indiretas entre FT e FE em 2D:4D é uma forma valiosa na investigação dos efeitos organizacionais em traços típicos entre masculino e feminino.

Em seguida são apresentados alguns estudos com abordagens alternativas. Estudos correlacionais e estudos experimentais que se destinam justamente a superar tais obstáculos. Sendo, no entanto, de destacar que qualquer estudo apresenta limitações e resultados inconsistentes, não estando nenhum isento de críticas.

1.2.2. Relação entre o rácio 2D:4D e os níveis de esteróides: revisão de estudos existentes

Hines (2002) refere estudos que mediram a testosterona no sangue do cordão umbilical e encontraram uma relação significativa entre os níveis desta hormona e o desempenho cognitivo em indivíduos do sexo masculino (Hines, 2002). Lutchmaya et al. (2004) analisaram FT e FE no líquido amniótico para investigar a relação com 2D:4D. Verificaram que níveis elevados de FT e baixos de FE estão associados a um 2D:4D mais “masculino” nos recém-nascidos. (Lutchmaya et al., 2004). Outros autores concluíram que a hiperplasia adrenal congénita (HAC) provoca maior masculinização física, comportamental e psicológica (Brown, Hines, et al., 2002; Cohen-Bendahan et al., 2005). Por exemplo, Cattrall observou que mulheres com HAC, quando adultas, frequentemente desenvolvem hiperandrogenismo ovariano, uma condição também comum em mulheres com síndrome dos ovários policísticos, que apresentam valores de 2D:4D mais baixos do que o normal (Cattrall et al., 2005).

Em contraste, os indivíduos com síndrome de Klinefelter, patologia caracterizada por testículos pequenos e infertilidade, que pode ser intervencionada com testosterona, apresentam baixos níveis de androgénios fetais. Estes indivíduos têm um 2D:4D significativamente maior (mais “feminino”) do que a média da população (Manning et al., 2013). Um padrão semelhante é encontrado em pessoas com síndrome de insensibilidade a androgénios, que resulta numa incapacidade parcial ou total de virilização intrauterina devido a alterações no recetor de androgénios.

Muitos outros estudos, realizados em animais (répteis, anfíbios, aves e mamíferos), mostraram relações semelhantes entre os comprimentos relativos dos dedos

e características associadas às hormonas sexuais (Brown, Finn, et al., 2002; Chang et al., 2006).

1.2.3. Mecanismos fisiológicos na relação entre o rácio 2D:4D e hormonas sexuais

Quanto ao mecanismo que liga o rácio 2D:4D às hormonas sexuais, vários estudos propuseram duas hipóteses principais.

Uma delas sugere que, durante o desenvolvimento embrionário, os níveis de testosterona e estrogénios atuam através dos seus recetores para regular a transcrição dos genes HOX. Isso influencia o crescimento dos dedos, afetando o seu comprimento relativo (Forstmeier et al., 2010; Manning et al., 1998). Os genes HOX desempenham um papel fundamental no desenvolvimento embrionário. São genes evolutivamente conservados que codificam fatores de transcrição essenciais para os processos morfogénéticos precoces e que permanecem ativos na idade adulta (Manning, Callow, et al., 2003; Quinonez & Innis, 2014). Nos vertebrados, incluindo os humanos, as famílias HOXA e HOXD são fundamentais para a diferenciação do sistema urogenital e para o desenvolvimento dos dedos das mãos e dos pés (Manning et al., 2000; Manning et al., 2003).

Nos humanos existem 39 genes HOX organizados em quatro clusters: HOXA, HOXB, HOXC e HOXD, localizados nos cromossomas 7p14, 17q21, 12q13 e 2q31, respetivamente (Sharkey Meghan et al., 1997). Mutações no HOXA, especialmente no HOXA13, podem causar a síndrome mão-pé-genitais que provoca defeitos nos dedos e no sistema urogenital (Imagawa et al., 2014). Os defeitos nas mãos incluem encurtamento do primeiro metacarpo, falanges distais reduzidas no polegar, anomalias no segundo e quinto dedos, fusão dos ossos do pulso e redução do tamanho do terceiro dedo. No sistema urogenital podem ocorrer fissuras ou deslocação da abertura da uretra (Imagawa et al., 2014).

A outra hipótese relaciona o rácio 2D:4D com variantes genéticas do gene do recetor de andrógeno (AR) (Auger et al., 2013; Berenbaum et al., 2009; van Hemmen, Cohen-Kettenis, Steensma, Veltman, & Bakker, 2017; Zheng & Cohn, 2011). O comprimento da repetição (CAG)_n no éxon 1 do gene AR está associado à sua expressão: repetições mais longas diminuem a atividade transcricional do recetor, enquanto

repetições mais curtas a aumentam (Choong, Kemppainen, Zhou, & Wilson, 1996; Irvine et al., 2000).

Dentro da variação normal destas repetições cadeias mais curtas de (CAG)_n estão associadas a um rácio 2D:4D mais baixo (Irvine et al., 2000). Nos homens isso está ligado a uma maior fertilidade, enquanto nas mulheres está correlacionado com ciclos anovulatórios e síndrome dos ovários policísticos. A nível comportamental, um 2D:4D baixo e poucas repetições de CAG foram observados em crianças com autismo, síndrome de Asperger, défice de atenção, hiperatividade e transtornos de conduta (Irvine et al., 2000).

No entanto esta hipótese é controversa, principalmente devido às dificuldades éticas e práticas em medir os níveis hormonais durante o desenvolvimento fetal, o que dificulta a confirmação da relação entre 2D:4D e variantes genéticas do AR. Uma meta-análise recente que replicou estudos anteriores concluiu que o comprimento das repetições CAG não está significativamente associado ao rácio 2D:4D (Zhang et al., 2019). Mais recentemente, Swift-Gallant (2020), num estudo com ratos, sugeriu que o AR fora do sistema nervoso tem um papel no desenvolvimento do 2D:4D. O aumento da sensibilidade ao andrógeno, por meio da maior expressão do AR, parece ser suficiente para aumentar a masculinização das proporções dos dedos (ou seja, um 2D:4D mais baixo) (Swift-Gallant et al., 2020),

É importante salientar que o rácio 2D:4D depende não só da concentração pré-natal de testosterona e estrogénios, mas também da sensibilidade a estas hormonas. Ao analisar apenas as repetições CAG, estamos a medir unicamente a sensibilidade à testosterona, o que é apenas um dos quatro fatores que influenciam a variação do 2D:4D (Manning & Fink, 2018).

1.3. Rácio 2D:4D e o desporto: implicações e relações

A competição direta entre homens e mulheres contribuiu para a identificação de diferenças de desempenho atlético entre os sexos, refletindo o dimorfismo sexual presente na maioria das capacidades físicas (Hönekopp & Schuster, 2010a; Kociuba et al., 2016). O rácio 2D:4D, como discutido anteriormente, é reconhecido como uma característica de dimorfismo sexual, evidenciando uma distinção marcada entre homens e mulheres. Este

traço foi proposto como um biomarcador potencial para o desempenho desportivo bem-sucedido em diversas modalidades. A maioria dos estudos consistentemente revela associações negativas entre o rácio 2D:4D e o desempenho desportivo, indicando que indivíduos com um 2D:4D baixo são classificados como superiores em aptidões desportivas, ultrapassando aqueles com um 2D:4D elevado (Eklund et al., 2020; Frick et al., 2017; Hönekopp & Schuster, 2010b; Hull et al., 2015).

A primeira demonstração desta relação ocorreu em jogadores profissionais de futebol ingleses por Manning e Taylor (2001). O estudo, que analisou uma amostra de 837 indivíduos, ($n=304$; $29,83\pm13,36$ anos, que jogavam ou tinham jogado futebol profissional, e $n=533$; $28,56\pm10,08$ anos, indivíduos comuns que serviram de controlo), revelou que os jogadores profissionais apresentavam valores mais baixos de 2D:4D em comparação com o grupo de controlo. Observaram que quanto menores eram os valores de 2D:4D, melhor era o desempenho dos atletas. Esta relação foi especialmente notada nos jogadores da equipa principal em comparação com os jogadores de reserva (Manning & Taylor, 2001).

Este tema despertou grande interesse científico, levando à realização de numerosos estudos em modalidades como esqui (Manning, 2002), corrida de resistência (Manning, Morris, et al., 2007a), corrida (Manning & Hill, 2009), esgrima (Voracek et al., 2010), râguebi (Bennett et al., 2010), surf (L. P. Kilduff et al., 2011), luta de sumo (Tamiya et al., 2012), andebol (Baker et al., 2013), futebol americano (Schorer et al., 2013), kabaddi (Sudhakar et al., 2014), voleibol (Panda et al., 2014), natação (Perciavalle et al., 2014), ténis (Hsu et al., 2015), remo (Hull et al., 2015) e basquetebol (Frick et al., 2017) Dyer et al., 2018;). Os resultados reforçam a associação entre um 2D:4D mais baixo e um melhor desempenho, sugerindo a influência de maiores níveis de testosterona pré-natal. No râguebi de elite constatou-se que os jogadores que marcaram mais golos e tiveram mais presenças em jogos internacionais, eram os jogadores que apresentavam um baixo 2D:4D (Bennett et al., 2010). Estudos comparativos entre atletas profissionais e semiprofissionais em diversas modalidades mostram uma tendência para os jogadores profissionais apresentem um baixo 2D:4D (Acar & Tutkun, 2018; Klapprodt et al., 2018; Mailhos et al., 2016). Klapprodt et al., (2018), ao analisarem 93 jovens atletas masculinos semi-profissionais de basquetebol (South Australian Premier League) e profissionais (Australian National Basketball League) com 25 ± 5 anos, observaram que os jogadores

com baixo 2D:4D tendem a ter um melhor desempenho, especialmente na marcação de pontos e no registo de mais assistências em “reviravoltas no jogo”. Constatou-se também que a média de 2D:4D não diferiu estatisticamente em jogadores iniciais e em reservas (Klapprodt et al., 2018). Em jovens atletas, a relação entre 2D:4D e desempenho também se verifica (Disterhaupt et al., 2022; Hsu et al., 2015; Lombardo & Otieno, 2021a; Nobari et al., 2021a; Tomkinson & Tomkinson, 2017). Durante a adolescência, fase marcada por grandes transformações fisiológicas, o 2D:4D pode representar uma alternativa não invasiva a outros indicadores de maturação biológica, como a idade esquelética (Malina, 2014). Assim, o 2D:4D surge como um possível biomarcador complementar no processo de identificação e desenvolvimento de talentos desportivos (Williams & Reilly, 2000), integrando avaliações físicas, fisiológicas e psicológicas.

1.3.1. Relação entre o rácio 2D:4D e o desporto infantojuvenil

Apresentamos alguns estudos realizados em jovens atletas, evidenciando que um baixo rácio 2D:4D está associado aos atletas que demonstram desempenhos superiores em vários testes de aptidão física (Lombardo & Otieno, 2021a; Nobari et al., 2021a; Tomkinson & Tomkinson, 2017). Hsu et al., (2015) analisa 316 jovens universitários, $n=150$ (82 homens e 68 mulheres) atletas universitários de ténis e $n=166$ (80 homens e 86 mulheres) não atletas, com idades compreendidas entre os 18 e os 22 anos. As conclusões fundamentais indicam que: (a) independentemente do género, os atletas universitários de ténis exibem valores de 2D:4D mais reduzidos em comparação com os não atletas; (b) atletas universitários masculinos de ténis de elite demonstram valores de 2D:4D inferiores em relação aos não atletas; (c) nas mulheres, tanto atletas quanto não atletas exibem valores de 2D:4D mais baixos do que as não atletas; e (d) atletas do sexo masculino apresentam valores de 2D:4D inferiores aos das atletas femininas. (Hsu et al., 2015). Recentemente, Nobari (2021) analisou 24 jogadores de futebol de elite com idades inferiores a 17 anos, relacionando o rácio 2D:4D com outros parâmetros de aptidão física, tais como a força, o consumo máximo de oxigénio e a carga de treino interno. Os resultados mostraram uma elevada relação entre a força muscular, o consumo máximo de oxigénio e o baixo 2D:4D no início, no meio e no final da temporada (Nobari et al., 2021a). As características gerais associadas a atletas de sucesso englobam uma melhor consciência visual-espacial, velocidades elevadas, notável resistência física e força. Todas essas qualidades eram, em tempos passados, vantajosas em competições diretas entre homens. Além disso, a observação frequente de intensa rivalidade entre adversários

em contextos desportivos amplia a perspetiva de o desporto ser considerado como um substituto para o "combate" masculino. Os limites comportamentais, regulados pelas regras dos eventos desportivos, são constantemente testados pelos competidores, chegando ao ponto de exigir um oficial com controlo absoluto para arbitrar a competição. (Manning & Taylor, 2001).

Seguidamente, é abordado uma análise da relação entre o rácio 2D:4D e algumas características fundamentais na classificação de atletas de elevada capacidade desportiva, nomeadamente o consumo máximo de oxigénio ($VO_{2máx}$), força e agressividade.

1.3.2. Correlação entre o rácio 2D:4D e o desempenho $VO_{2máx}$

É conhecido que existem diferenças sexuais marcadas em algumas capacidades atléticas, sobretudo nas tarefas que exigem corrida de velocidade. Os homens, por exemplo, tendem a apresentar velocidades cerca de 10% superiores às mulheres numa corrida de 42 km (Lepers, 2019). Contudo, esta discrepância entre os géneros não é algo recente. Em 1994 Helgerud evidenciou a vantagem masculina em certas variáveis desportivas, nomeadamente no consumo de $VO_{2máx}$, no limiar anaeróbico e na economia de corrida. Essas disparidades podem ser atribuídas à combinação de menor percentagem de gordura corporal e à maior quantidade de glóbulos vermelhos por peso corporal específico (Joyner, 2017).

Portanto, foi proposto que a associação entre o rácio 2D:4D e o desempenho desportivo pode depender do sucesso em corridas de média e longa distância, influenciado pelo consumo de $VO_{2máx}$ (Manning, Morris, et al., 2007a). Essa sugestão recebeu algum respaldo na meta-análise de Hönekopp e Schuster (2010), que indicaram que o tamanho do efeito das correlações entre 2D:4D e velocidade de corrida aumentou à medida que a distância da corrida aumentava, sendo que os valores médios para indivíduos do sexo masculino eram superiores aos do sexo feminino (Hönekopp & Schuster, 2010a). O $VO_{2máx}$ para mulheres jovens sedentárias é aproximadamente $33 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, enquanto para homens jovens sedentários é cerca de $42 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ (Bouchard et al., 1998). O treino físico pode aumentar o $VO_{2máx}$, mas as comparações entre atletas masculinos e femininos de elite permanecem. O valor médio do $VO_{2máx}$ de maratonistas de elite é de $74,1 (\pm 2,6) \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ nos homens e $67,1 (\pm 4,2) \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ nas mulheres. Dessa forma, tanto o 2D:4D quanto o $VO_{2máx}$ apresentam dimorfismo sexual e, nesse sentido, podem estar relacionados entre si (Pate & O'Neill, 2007). Hill et al. (2012) conduziram

um estudo para investigar a relação entre o rácio 2D:4D e o $VO_{2\text{máx}}$, num espectro amostral de 41 adolescentes praticantes de várias modalidades desportivas, incluindo futebol, squash, ténis de mesa e atletismo.

Os resultados revelaram a ausência de relações significativas entre 2D:4D, tanto do lado direito quanto do esquerdo e $VO_{2\text{máx}}$, velocidade do consumo de oxigénio e ácido láctico. No entanto, foram observadas relações entre baixo 2D:4D (direita-esquerda) e elevado $VO_{2\text{máx}}$. Nesse contexto, o autor sugere que a alta sensibilidade ou as concentrações elevadas de testosterona pré-natal podem estar associadas ao $VO_{2\text{máx}}$ na variação individual, considerando-se um fator subjacente que liga 2D:4D direito-esquerdo ao desempenho desportivo. No entanto, é importante notar que os resultados obtidos são representativos de uma amostra de pequena dimensão (Hill et al., 2012).

Outro estudo, conduzido pela Universidade de Cambridge com 147 atletas de remo (77 do sexo masculino e 70 do sexo feminino) revelou correlações negativas estatisticamente significativas entre o rácio 2D:4D da mão direita e esquerda e o tempo de remo nos 2000 metros, mas apenas no sexo masculino. Os resultados indicam que um rácio de dígitos mais baixa está correlacionada com um melhor desempenho. Os autores sugerem que essa associação pode ser atribuída à exposição precoce a andrógenos, que desempenham um papel crucial na formação de força muscular em homens, além de possivelmente contribuírem para o desenvolvimento de um sistema cardiovascular robusto. Assim, a exposição fetal ao androgénio é proposta como um precursor tanto do desenvolvimento cardiovascular quanto do crescimento muscular ou do metabolismo muscular (Longman et al., 2011). Estudos mais recentes, como o de Lombardo et al. (2021), com 11 rapazes e 15 raparigas, corredores de elite em provas de longa distância, não identificaram relações significativas entre o rácio 2D:4D (direita-esquerda) e o Pico de VO_2 em massa. Observou-se apenas uma correlação negativa entre o 2D:4D da mão direita e o Pico de VO_2 nos rapazes, mas não nas raparigas. Este achado sugere que as diferenças sexuais nos efeitos da exposição pré-natal à testosterona no desenvolvimento cardiovascular podem influenciar o subsequente $VO_{2\text{máx}}$. Contudo, esse efeito é provavelmente mais complexo, pois, quando a massa corporal dos sujeitos foi considerada nas análises, a relação entre o 2D:4D da mão direita e o Pico de VO_2 por massa não foi significativa para raparigas nem rapazes. (Lombardo & Otieno, 2021a). Nobari (2021), em um estudo com uma amostra de 24 jovens jogadores de futebol de elite, realizado com o objetivo de analisar as correlações entre o rácio 2D:4D e os parâmetros de aptidão, constatou que o 2D:4D da mão direita e o 2D:4D da mão esquerda

estavam amplamente e negativamente associados a alterações na força muscular e no VO₂max. nos três estágios medidos (início, meio e final da época) (Nobari et al., 2021a).

1.3.3. Impacto do rácio 2D:4D na força muscular

Embora o desempenho desportivo esteja frequentemente associado à capacidade cardiovascular, a força muscular também é um fator determinante em muitas modalidades. Estudos demonstram que tanto a força como a capacidade aeróbica contribuem para o sucesso em desportos de elite, como o futebol (Wisløff et al., 1998) e o esqui (Neumayr et al., 2003).

Nos últimos anos investigou-se a relação entre o rácio 2D:4D e a força muscular, sobretudo através da força de preensão manual (FPM), um indicador amplamente utilizado em estudos antropológicos e de desempenho físico (Fink et al., 2006; Gallup et al., 2007). A maioria dos estudos sugere uma correlação negativa entre 2D:4D e FPM, ou seja, indivíduos com menor 2D:4D tendem a apresentar maior força, especialmente entre homens. No entanto, os resultados são inconsistentes.

Inicialmente, alguns autores persuasivamente sugerem que a relação entre 2D:4D e força é evidenciada pela força de preensão manual (FPM), argumentando que esta se correlaciona com a força em outros grupos musculares (Fink et al., 2006). Numa análise realizada em jovens adultos de duas etnias distintas (52 alemães e 88 indianos), os pesquisadores observaram que o 2D:4D direito e a FPM eram independentes da etnia. Além disso, constataram que a força era superior em homens com baixo 2D:4D (Fink et al., 2006). Evidências crescentes indicam que a FPM é altamente dimórfica a nível sexual e representa uma medida autêntica da capacidade física, frequentemente empregue em pesquisas antropológicas sob uma perspetiva evolutiva (Gallup et al., 2007). No entanto, as evidências atuais sobre a relação entre 2D:4D e FPM, presentes em mais de 20 artigos, são limitadas e têm produzido resultados inconsistentes. Zhao et al. (2013) conduziram uma investigação com 140 indivíduos da etnia Hani (80 homens e 60 mulheres) e identificaram uma relação sexo-específica entre 2D:4D e FPM. Em outras palavras, observaram uma correlação negativa significativa entre 2D:4D da mão direita e FPM em homens, mas não nas mulheres (Zhao et al., 2013). Por outro lado, Ribeiro et al. (2016) examinaram uma amostra de 89 homens saudáveis, entre estudantes e funcionários de duas universidades do Reino Unido (87% caucasianos, 11% mestiços, 1% negros e 1% asiáticos). Eles constataram um aumento na FPM após uma situação desafiadora (visualização de um vídeo agressivo) nos homens com 2D:4D à esquerda mais baixo, em

comparação com a condição de controle, na qual não foram observadas relações significativas entre a força e o 2D:4D (Ribeiro, Neave, Morais, & Manning, 2016). Kociuba et al. (2019) identificaram que o 2D:4D possui uma correlação negativa significativa com a FPM, independente da idade e do tamanho corporal, na condição de desafio (visualização de um vídeo agressivo), mas não na condição de controlo (visualização de uma tela em branco). Além disso, observaram que essa relação foi mais robusta no sexo feminino em comparação ao masculino. (Kociuba et al., 2019). Tomkinson e Tomkinson (2017) examinaram 57 adolescentes do sexo masculino, caucasianos, dos Estados Unidos.

Os resultados revelaram que o 2D:4D apresentou uma correlação negativa moderada com a FPM, mesmo após o ajuste para idade e tamanho corporal (Tomkinson & Tomkinson, 2017). Com o objetivo de aprofundar o entendimento desta temática, foi realizada uma meta-análise abrangendo 22 estudos, que representaram 5271 indivíduos de 11 países. Os resultados indicaram que o 2D:4D apresentou uma correlação negativa fraca com a FPM. Observou-se evidência substancial de heterogeneidade entre os estudos, incluindo diferenças nos protocolos de teste de FPM, falta de informações sobre controles nas condições de teste (como instruções pré-teste, motivação verbal, hora do dia) e variabilidade entre os estudos nos efeitos de ativação de curto prazo da testosterona. (Pasanen et al., 2022). Para reduzir a variabilidade entre os estudos é crucial seguir as diretrizes do protocolo de FPM (Roberts et al., 2011). Assim como também é fundamental reconhecer que a aptidão muscular é uma construção multidimensional. Embora seja específica para o grupo muscular, tipo de ação muscular, contração muscular, velocidade de contração, equipamento e amplitude de movimento articular, até ao momento apenas consideramos estudos que avaliaram a aptidão muscular usando a FPM. Todavia, diversos estudos foram conduzidos com outras medidas de aptidão muscular, incluindo a força absoluta da parte inferior do corpo. (Eler & Eler, 2018; Folland et al., 2012; Nobari et al., 2021a), e força relativa da parte superior do corpo (Eklund et al., 2020; Kociuba et al., 2016; Koziel & Malina, 2018a; Lombardo & Otieno, 2021a), e força de tronco (Koziel & Malina, 2018a; Lombardo & Otieno, 2021a). Folland et al. (2012) examinaram a relação entre 2D:4D e a força isocinética dos extensores do joelho em 77 jovens caucasianos ($20,1 \pm 2,2$ anos) e não verificaram evidências de correlação entre a força e 2D:4D. A conclusão sugere que a associação entre 2D:4D e desempenho desportivo não é explicada pela influência da força muscular locomotora. A justificação apresentada é que a testosterona

fetal influência o desenvolvimento cerebral (Lombardo, 2012); e assim o 2D:4D pode estar relacionado com as diferenças na organização cerebral (Valla & Ceci, 2011).

Contrariamente, Eler (2018) analisou a aptidão física em crianças, abordando a força explosiva e estática em uma amostra de 1270 alunos (592 do sexo feminino, 678 do sexo masculino), com idades entre 10 e 12 anos. Os resultados demonstraram uma correlação negativa entre o 2D:4D da mão direita e a força explosiva (medida pelo salto vertical e salto em distância) e força estática (medida com FPM), mas apenas nas crianças do sexo masculino (Eler & Eler, 2018). Com resultados semelhantes, Ranson et al. (2015), utilizando uma amostra de 922 estudantes do sexo masculino (idade média de $10,1 \pm 1,0$ anos) e 835 do sexo feminino (idade média de $10,1 \pm 0,9$ anos), identificaram uma correlação negativa entre o 2D:4D e a força, a resistência e a velocidade no sexo masculino (Ranson et al., 2015). Num estudo mais recente, Nobari et al. (2020) examinaram a influência nos parâmetros de *fitness*, nomeadamente na força isométrica dos músculos quadríceps e isquiotibiais, com base no 2D:4D, em jovens atletas praticantes de futebol (idade média de $16,1 \pm 0,22$ anos). Concluíram que há uma correlação negativa entre o 2D:4D e a força muscular (Nobari et al., 2021a). Relativamente à força dos membros superiores, ainda não foram identificadas correlações significativas com o 2D:4D (Güler, 2018). Por último, no que diz respeito à força do tronco (teste de *sit-ups*), nos estudos analisados também não foram encontradas correlações com o 2D:4D, seja na mão direita ou esquerda (Koziel et al., 2017; Lombardo et al., 2020). (Koziel et al., 2017) (Lombardo et al., 2020).

1.3.4. Correlação entre o rácio 2D:4D e comportamento agressivo no desporto

Os andrógenos pré-natais também podem exercer efeitos organizacionais no cérebro em desenvolvimento, aumentando a sensibilidade à T na fase adulta (Swaab, 2007; Zheng & Cohn, 2011a), o que pode influenciar diversas características comportamentais, como orientação sexual (Xu & Zheng, 2016), capacidade espacial (Eler & Eler, 2018), tomada de risco (Alonso et al., 2018) e agressão (Butovskaya et al., 2019).

Dados recentes revelaram uma correlação positiva significativa entre a proporção 2D:4D e o volume de matéria cinzenta do córtex cingulado anterior dorsal, uma região cerebral que apoia a regulação emocional, o monitoramento de conflitos e a inibição comportamental (Gorka et al., 2015). Foquemo-nos na agressividade, pois esta é descrita como um fator crucial no sucesso desportivo. A agressão em humanos é fortemente influenciada pelo género, com os homens demonstrando geralmente níveis mais elevados

de agressão física em comparação com as mulheres. (Campbell & Muncer, 2008). Assim, isso pode sugerir que o 2D:4D está inversamente relacionado com a agressão física.

No entanto, fora do contexto desportivo, essa associação geralmente é considerada fraca, necessitando de dimensões de amostras elevadas e análises estatísticas apropriadas para ser devidamente avaliada (Hönekopp & Watson, 2011). Além de que se torna relevante o contexto no qual é feita a medida da agressividade (Manning et al., 2014). O estudo de Millet & Dewitte (2007) ilustra essa perspectiva interacionista, sugerindo que um 2D:4D baixo prediz uma agressão elevada apenas quando os participantes são provocados ou colocados em um contexto ameaçador (Millet & Dewitte, 2007). Nessa situação, são esperados aumentos marcados nos níveis de testosterona e correlações robustas entre 2D:4D e agressão. No entanto, se os participantes forem testados em condições neutras, a relação entre o rácio 2D:4D e a agressão pode ser fraca (Carré, 2014).

Vejamos alguns dos estudos efetuados. Kuepper e Hennig (2007) procuraram estudar a relação entre o rácio 2D:4D e a agressão, partindo da sugestão de que baixos valores de 2D:4D estariam relacionados com maiores níveis de agressividade. Em conformidade com outros estudos, observaram associações significativas entre o rácio 2D:4D e diferentes medidas do comportamento agressivo, especificamente a agressão não provocada, a agressão retaliativa direta e a agressão extrema (Kuepper & Hennig, 2007; Verona & Curtin, 2006). Perciavalle (2013) verificou que jogadores de futebol com baixo rácio 2D:4D tiveram um maior número de faltas por jogo, ou seja, quanto menor o rácio 2D:4D de um jogador, maior a proporção de faltas, e verificaram também uma correlação negativa significativa entre o rácio 2D:4D e a concentração salivar de testosterona. Concluíram assim que, em jogadores profissionais de futebol, o comportamento agressivo, com consequente aumento do risco de faltas durante o jogo, é mais provável em indivíduos com níveis elevados de testosterona (Perciavalle et al., 2013). Um estudo recente, com uma amostra de 200 jovens estudantes do sexo masculino, concluiu que os atletas de desportos de contato apresentaram rácios 2D:4D significativamente mais baixos e níveis significativamente mais altos de agressão física, em comparação com atletas de desportos sem contato (Reed et al., 2017).

1.4. Referências bibliográficas:

- Acar, H., & Tutkun, E. (2018). Analysis of the 2D:4D Ratios of National and Amateur Football Players. In *International Journal of Applied Exercise Physiology* (Vol. 8, Issue 1). www.ijaep.com
- Alonso, J., di Paolo, R., Ponti, G., & Sartarelli, M. (2018). Facts and misconceptions about 2d:4d, social and risk preferences. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 12. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2018.00022>
- Baker, J., Kungl, A. M., Pabst, J., Strauß, B., Büsch, D., & Schorer, J. (2013). Your fate is in your hands? Handedness, digit ratio (2D:4D), and selection to a national talent development system. *Laterality*, 18(6), 710–718. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2012.755992>
- Bennett, M., Manning, J., Cook, C. J., & Kilduff, L. P. (2010). Digit ratio (2D:4D) and performance in elite rugby players. *Journal of Sports Sciences*, 28(13), 1415–1421. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.510143>
- Brown, W. M., Finn, C. J., & Breedlove, S. M. (2002). Sexual dimorphism in digit-length ratios of laboratory mice. In *Anatomical Record* (Vol. 267, Issue 3, pp. 231–234). <https://doi.org/10.1002/ar.10108>
- Brown, W. M., Hines, M., Fane, B. A., & Breedlove, S. M. (2002). Masculinized finger length patterns in human males and females with congenital adrenal hyperplasia. *Hormones and Behavior*, 42(4), 380–386. <https://doi.org/10.1006/hbeh.2002.1830>
- Butovskaya, M., Burkova, V., Karelin, D., & Filatova, V. (2019). The association between 2D:4D ratio and aggression in children and adolescents: Cross-cultural and gender differences. *Early Human Development*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2019.07.006>
- Campbell, A., & Muncer, S. (2008). Intent to harm or injure? Gender and the expression of anger. *Aggressive Behavior*, 34(3), 282–293. <https://doi.org/10.1002/ab.20228>
- Cattrall, F. R., Vollenhoven, B. J., & Weston, G. C. (2005). Anatomical evidence for in utero androgen exposure in women with polycystic ovary syndrome. *Fertility and Sterility*, 84(6), 1689–1692. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2005.05.061>
- Chang, J. L., Doughty, S., Wade, J., & Lovern, M. B. (2006). Sexual dimorphism in the second-to-fourth digit length ratio in green anoles, *Anolis carolinensis* (Squamata: Polychrotidae), from the southeastern United States. *Canadian Journal of Zoology*, 84(10), 1489–1494. <https://doi.org/10.1139/Z06-144>

- Cohen-Bendahan, C. C. C., Buitelaar, J. K., van Goozen, S. H. M., Orlebeke, J. F., & Cohen-Kettenis, P. T. (2005). Is there an effect of prenatal testosterone on aggression and other behavioral traits? A study comparing same-sex and opposite-sex twin girls. *Hormones and Behavior*, 47(2), 230–237.
<https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2004.10.006>
- Disterhaupt, J. W., Fitzgerald, J. S., Rhoades, J. L., & Tomkinson, G. R. (2022). The relationship between the digit ratio (2D:4D) and vertical jump performance in young athletes. *American Journal of Human Biology*, 34(3).
<https://doi.org/10.1002/ajhb.23679>
- Eklund, E., Ekström, L., Thörngren, J. O., Ericsson, M., Berglund, B., & Hirschberg, A. L. (2020). Digit Ratio (2D:4D) and physical performance in female olympic athletes. *Frontiers in Endocrinology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00292>
- Eler, N., & Eler, S. (2018). 2D: 4D, Lateralization and Strength in Handball Players. *Journal of Education and Training Studies*, 6(5), 170.
<https://doi.org/10.11114/jets.v6i5.3220>
- Fink, B., Manning, J., & Neave, N. (2004). Second to fourth digit ratio and the “big five” personality factors. *Personality and Individual Differences*, 37(3), 495–503.
<https://doi.org/10.1016/j.paid.2003.09.018>
- Fink, B., Thanzami, V., Seydel, H., & Manning, J., (2006). Digit ratio and hand-grip strength in German and Mizos men: Cross-cultural evidence for an organizing effect of prenatal testosterone on strength. *American Journal of Human Biology*, 18(6), 776–782. <https://doi.org/10.1002/ajhb.20549>
- Folland, J. P., Mc Cauley, T. M., Phypers, C., Hanson, B., & Mastana, S. S. (2012). Relationship of 2D:4D finger ratio with muscle strength, testosterone, and androgen receptor CAG repeat genotype. *American Journal of Physical Anthropology*, 148(1), 81–87. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22044>
- Forstmeier, W., Mueller, J. C., & Kempenaers, B. (2010). A polymorphism in the oestrogen receptor gene explains covariance between digit ratio and mating behaviour. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1698), 3353–3361. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.1007>
- Frick, N. A., Hull, M. J., Manning, J., & Tomkinson, G. R. (2017). Relationships between digit ratio (2D:4D) and basketball performance in Australian men. *American Journal of Human Biology*, 29(3). <https://doi.org/10.1002/ajhb.22937>

- Fusar-Poli, L., Rodolico, A., Sturiale, S., Carotenuto, B., Natale, A., Arillotta, D., Siafis, S., Signorelli, M. S., & Aguglia, E. (2021). Second-to-fourth digit ratio (2D:4D) in psychiatric disorders: A systematic review of case-control studies. In *Clinical Psychopharmacology and Neuroscience* (Vol. 19, Issue 1, pp. 26–45). Korean College of Neuropsychopharmacology. <https://doi.org/10.9758/CPN.2021.19.1.26>
- Gallup, A. C., White, D. D., & Gallup, G. G. (2007). Handgrip strength predicts sexual behavior, body morphology, and aggression in male college students. *Evolution and Human Behavior*, 28(6), 423–429. <https://doi.org/10.1016/j.evolhumbehav.2007.07.001>
- Godfrey, K. M., Reynolds, R. M., Prescott, S. L., Nyirenda, M., Jaddoe, V. W. V., Eriksson, J. G., & Broekman, B. F. P. (2017). Influence of maternal obesity on the long-term health of offspring. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, 5(1), 53–64. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(16\)30107-3](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(16)30107-3)
- Gorka, A. X., Norman, R. E., Radtke, S. R., Carré, J. M., & Hariri, A. R. (2015). Anterior cingulate cortex gray matter volume mediates an association between 2D:4D ratio and trait aggression in women but not men. *Psychoneuroendocrinology*, 56, 148–156. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2015.03.004>
- Güler, D. (2018). The relation between 2D:4D finger length ratio and sport performances of amateur basketball players. *European Journal of Physical Education and Sport Science*, 4(3), 91–100. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1221408>
- Hales, N., & Barker, D. J. P. (2001). The thrifty phenotype hypothesis. *British Medical Bulletin*, 60(1), 5–20. <https://doi.org/10.1093/bmb/60.1.5>
- Herault, Y., Fraudeau, N., Zákány, J., & Duboule, D. (1997). Ulnaless (Ul), a regulatory mutation inducing both loss-of-function and gain-of-function of posterior Hoxd genes. *Development*, 124(18), 3493–3500.
- Hill, R., Simpson, B., Manning, J., & Kilduff, L. (2012). Right-left digit ratio (2D:4D) and maximal oxygen uptake. *Journal of Sports Sciences*, 30(2), 129–134. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.637947>
- Hines, M. (2002). *Sexual Differentiation of Human Brain and Behavior*. Cambridge University Press.
- Hönekopp, J., & Schuster, M. (2010). A meta-analysis on 2D:4D and athletic prowess: Substantial relationships but neither hand out-predicts the other. *Personality and Individual Differences*, 48(1), 4–10. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2009.08.009>

- Hönekopp, J., & Watson, S. (2011). Meta-analysis of the relationship between digit-ratio 2D:4D and aggression. *Personality and Individual Differences*, 51(4), 381–386. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2010.05.003>
- Hsu, C.-C., Su, B., Kan, N.-W., Lai, S.-L., Fong, T.-H., Chi, C.-P., Chang, C.-C., & Hsu, M.-C. (2015). Elite collegiate tennis athletes have lower 2D:4D ratios than those of nonathlete controls. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(3), 822–825. www.nscs.com
- Hull, M. J., Schranz, N. K., Manning, J., & Tomkinson, G. R. (2015). Relationships between digit ratio (2D:4D) and female competitive rowing performance. *American Journal of Human Biology*, 27(2), 157–163. <https://doi.org/10.1002/ajhb.22627>
- Imagawa, E., Kayserili, H., Nishimura, G., Nakashima, M., Tsurusaki, Y., Saitsu, H., Ikegawa, S., Matsumoto, N., & Miyake, N. (2014). Severe manifestations of hand-foot-genital syndrome associated with a novel HOXA13 mutation. *American Journal of Medical Genetics, Part A*, 164(9), 2398–2402. <https://doi.org/10.1002/ajmg.a.36648>
- Irie, T., Aizawa, T., & Kokubun, S. (2005). The role of sex hormones in the kinetics of chondrocytes in the growth plate. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 87(9), 1278–1284. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.87B9>
- Joyner, M. J. (2017). Physiological limits to endurance exercise performance: influence of sex. *The Journal of Physiology*, 595(9), 2949–2954. <https://doi.org/10.1113/JP272268>
- Kilduff, L. P., Cook, C. J., & Manning, J. (2011). Digit ratio (2D:4D) and performance in male surfers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(11), 3175–3180. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31820caa74>
- Klapprodt, K. L., Fitzgerald, J. S., Short, S. E., Manning, J., & Tomkinson, G. R. (2018). Relationships between the digit ratio (2D:4D) and game-related statistics in professional and semi-professional male basketball players. *American Journal of Human Biology*, 30(6), e23182. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23182>
- Knickmeyer, R., Baron-Cohen, S., Raggatt, P., & Taylor, K. (2005). Foetal testosterone, social relationships, and restricted interests in children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 46(2), 198–210. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2004.00349.x>
- Kociuba, M., Chakraborty, R., Ignasiak, Z., & Kozieł, S. (2019). Digit ratio (2D:4D) moderates the change in handgrip strength on an aggressive stimulus: A study among

- Polish young adults. *Early Human Development*, 128, 62–68.
<https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2018.11.009>
- Kociuba, M., Koziel, S., & Chakraborty, R. (2016). Sex differences in digit ratio (2d:4d) among military and civil cohorts at a military academy in wrocław, Poland. *Journal of Biosocial Science*, 48(5), 658–671. <https://doi.org/10.1017/S0021932015000401>
- Koziel, S. M., & Malina, R. M. (2018). Modified Maturity Offset Prediction Equations: Validation in Independent Longitudinal Samples of Boys and Girls. *Sports Medicine*, 48(1), 221–236. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0750-y>
- Kuepper, Y., & Hennig, J. (2007). Behavioral aggression is associated with the 2D:4D ratio in men but not in women. *Journal of Individual Differences*, 28(2), 64–68.
<https://doi.org/10.1027/1614-0001.28.2.64>
- Lepers, R. (2019). Sex difference in triathlon performance. *Frontiers in Physiology*, 10, Article 973. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.009>
- Lombardo, M. P., & Otieno, S. (2021). The associations between digit ratio, aerobic fitness, physical skills, and overall physical fitness of elite youth distance runners. *American Journal of Human Biology*, 33(1). <https://doi.org/10.1002/ajhb.23448>
- Longman, D., Stock, J. T., & Wells, J. C. K. (2011). Digit ratio (2D:4D) and rowing ergometer performance in males and females. *American Journal of Physical Anthropology*, 144(3), 337–341. <https://doi.org/10.1002/ajpa.21407>
- Lutchmaya, S., Baron-Cohen, S., Raggatt, P., Knickmeyer, R., & Manning, J. (2004). 2nd to 4th digit ratios, fetal testosterone and estradiol. *Early Human Development*, 77(1–2), 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2003.12.002>
- Mailhos, A., Buunk, A. P., Del Arca, D., & Tutte, V. (2016). Soccer players awarded one or more red cards exhibit lower 2D:4D ratios. *Aggressive Behavior*, 42(5), 417–426.
<https://doi.org/10.1002/ab.21638>
- Malina, R. M. (2014). Top 10 research questions related to growth and maturation of relevance to physical activity, performance, and fitness. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 85(2), 157–173. <https://doi.org/10.1080/02701367.2014.897592>
- Manning, J. (2002). *Digit ratio: a pointer to fertility, behavior, and health*. Rutgers University Press.
- Manning, J., & Bundred, P. E. (2000). The ratio of 2nd to 4th digit length: A new predictor of disease predisposition? *Medical Hypotheses*, 54(5), 855–857.
<https://doi.org/10.1054/mehy.1999.0000>

- Manning, J., & Fink, B. (2018). Digit ratio. In T. K. Shackelford & V. A. Weekes-Shackelford (Eds.), *Encyclopedia of evolutionary psychological science* (pp. 1–12). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16999-6_3829-1
- Manning, J., & Fink, B. (2018). Sexual dimorphism in the ontogeny of second (2D) and fourth (4D) digit lengths, and digit ratio (2D:4D). *American Journal of Human Biology*, 30(4). <https://doi.org/10.1002/ajhb.23138>
- Manning, J., & Hill, M. R. (2009). Digit ratio (2D:4D) and sprinting speed in boys. *American Journal of Human Biology*, 21(2), 210–213. <https://doi.org/10.1002/ajhb.20855>
- Manning, J., Kilduff, L., Cook, C., Crewther, B., & Fink, B. (2014). Digit ratio (2D:4D): A biomarker for prenatal sex steroids and adult sex steroids in challenge situations. *Frontiers in Endocrinology*, 5, Article 9. <https://doi.org/10.3389/fendo.2014.00009>
- Manning, J., Kilduff, L. P., & Trivers, R. (2013). Digit ratio (2D:4D) in Klinefelter's syndrome. *Andrology*, 1(1), 94–99. <https://doi.org/10.1111/j.2047-2927.2012.00013.x>
- Manning, J., Bundred, P. E., Newton, D. J., & Flanagan, B. F. (2003). The second to fourth digit ratio and variation in the androgen receptor gene. *Evolution and Human Behavior*, 24(6), 399–405. [https://doi.org/10.1016/S1090-5138\(03\)00052-7](https://doi.org/10.1016/S1090-5138(03)00052-7)
- Manning, J., Callow, M., & Bundred, P. E. (2003). Finger and toe ratios in humans and mice: Implications for the aetiology of diseases influenced by HOX genes. *Medical Hypotheses*, 60(3), 340–343. [https://doi.org/10.1016/S0306-9877\(02\)00400-0](https://doi.org/10.1016/S0306-9877(02)00400-0)
- Manning, J., Churchill, A. J. G., & Peters, M. (2007). The effects of sex, ethnicity, and sexual orientation on self-measured digit ratio (2D:4D). *Archives of Sexual Behavior*, 36(2), 223–233. <https://doi.org/10.1007/s10508-007-9171-6>
- Manning, J., Fink, B., Neave, N., & Szwed, A. (2006). The second to fourth digit ratio and asymmetry. *Annals of Human Biology*, 33(4), 480–492. <https://doi.org/10.1080/03014460600802551>
- Manning, J., Morris, L., & Caswell, N. (2007). Endurance running and digit ratio (2D:4D): Implications for fetal testosterone effects on running speed and vascular health. *American Journal of Human Biology*, 19(3), 416–421. <https://doi.org/10.1002/ajhb.20603>
- Manning, J. T., Scutt, D., Wilson, J., & Lewis-Jones, D. I. (1998). The ratio of 2nd to 4th digit length: A predictor of sperm numbers and concentrations of testosterone,

- luteinizing hormone and oestrogen. *Human Reproduction*, 13(11), 3000–3004. <https://doi.org/10.1093/humrep/13.11.3000>
- Manning, J., & Taylor, R. P. (2001). Second to fourth digit ratio and male ability in sport: Implications for sexual selection in humans. *Evolution and Human Behavior*, 22(1) 61-69. [https://doi.org/10.1016/S1090-5138\(00\)00063-5](https://doi.org/10.1016/S1090-5138(00)00063-5)
- Manning, J., Trivers, R. L., Thornhill, R., & Singh, D. (2000). The 2nd:4th digit ratio and asymmetry of hand performance in Jamaican children. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 5(2), 121–132. <https://doi.org/10.1080/135765000396744>
- Manolagas, S. C., O'Brien, C. A., & Almeida, M. (2013). The role of estrogen and androgen receptors in bone health and disease. *Nature Reviews Endocrinology*, 9(12), 699–712. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2013.179>
- Mariotti, A., & Mawhinney, M. (2013). Endocrinology of sex steroid hormones and cell dynamics in the periodontium. *Periodontology* 2000, 61(1), 69–88. <https://doi.org/10.1111/prd.12007>
- McFadden, D., & Shubel, E. (2002). Relative lengths of fingers and toes in human males and females. *Hormones and Behavior*, 42(4), 492–500. <https://doi.org/10.1006/hbeh.2002.1833>
- McIntyre, M. H. (2006). The use of digit ratios as markers for perinatal androgen action. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 4, Article 10. <https://doi.org/10.1186/1477-7827-4-10>
- Millet, K., & Dewitte, S. (2007). Digit ratio (2D:4D) moderates the impact of an aggressive music video on aggression. *Personality and Individual Differences*, 43(2), 289–294. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2006.11.024>
- Molina, P. E. (2018). *Endocrine Physiology* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Neumayr, G., Hoertnagl, H., Pfister, R., Koller, A., Eibl, G., & Raas, E. (2003). Physical and physiological factors associated with success in professional alpine skiing. *Sports Medicine*, 33(8), 571–575. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333080-00003>
- Nobari, H., Alves, A. R., Clemente, F. M., & Pérez-Gómez, J. (2021). Influence of 2D:4D ratio on fitness parameters and accumulated training load in elite youth soccer players. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 13(1), Article 118. <https://doi.org/10.1186/s13102-021-00354-5>

- Notelovitz, M. (2002). Androgen effects on bone and muscle. *Fertility and Sterility*, 77(4), 34–41.
- Panda, K., Majumdar, P., Umesh, V., & Sudhakar, H. H. (2014). Ratio of second to fourth digit as a predictor of performance in elite Indian volley ball players. *National Journal of Physiology, Pharmacy and Pharmacology*, 4(2), 106–108. <https://doi.org/10.5455/njppp.2014.4.011020132>
- Pasanen, B. E., Tomkinson, J. M., Dufner, T. J., Park, C. W., Fitzgerald, J. S., & Tomkinson, G. R. (2022). The relationship between digit ratio (2D:4D) and muscular fitness: A systematic review and meta-analysis. *American Journal of Human Biology*, 34(3). <https://doi.org/10.1002/ajhb.23657>
- Pate, R. R., & O'Neill, J. R. (2007). American women in the marathon. *Sports Medicine*, 37(4–5), 294–298. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737040-00006>
- Perciavalle, V., Di Corrado, D., Petralia, M. C., Gurrisi, L., Massimino, S., & Coco, M. (2013). The second-to-fourth digit ratio correlates with aggressive behavior in professional soccer players. *Molecular Medicine Reports*, 7(6), 1733–1738. <https://doi.org/10.3892/mmr.2013.1426>
- Perciavalle, V., Di Corrado, D., Scuto, C., Perciavalle, V., & Coco, M. (2014). Anthropometrics related to the performance of a sample of male swimmers. *Perceptual and Motor Skills*, 118(3), 940–950. <https://doi.org/10.2466/19.50.PMS.118k27w8>
- Peters, M., Mackenzie, K., & Bryden, P. (2002). Finger length and distal finger extent patterns in humans. *American Journal of Physical Anthropology*, 117(3), 209–217. <https://doi.org/10.1002/ajpa.10029>
- Phelps, V. R. (1952). Relative index finger length as a sex-influenced trait in man. *American Journal of Human Genetics*, 4(2), 72–89.
- Quinonez, S. C., & Innis, J. W. (2014). Human HOX gene disorders. *Molecular Genetics and Metabolism*, 111(1), 4–15. <https://doi.org/10.1016/j.ymgme.2013.10.012>
- Ranson, R., Stratton, G., & Taylor, S. R. (2015). Digit ratio (2D:4D) and physical fitness (Eurofit test battery) in school children. *Early Human Development*, 91(5), 327–331. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2015.03.005>
- Reed, S., Meggs, J., & Manning, J. (2017). Examining the effect of prenatal testosterone and aggression on sporting choice and sporting longevity. *Personality and Individual Differences*, 116, 11–15. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2017.04.022>
<https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2016.04.003>

- Ribeiro, E., Neave, N., Morais, R. N., & Manning, J. (2016). Direct versus indirect measurement of digit ratio (2D:4D): A critical review of the literature and new data. *Evolutionary Psychology*, 14(1), 1-9. <https://doi.org/10.1177/1474704916632536>
- Schorer, J., Rienhoff, R., Westphal, H., & Baker, J. (2013). Digit ratio effects between expertise levels in american football players. *Talent Development and Excellence*, 5(2), 115–122.
- Sharkey, M., Graba, Y., & Scott M. P. (1997). Hox genes in evolution: Protein surfaces and paralog groups. *Trends in Genetics*, 13(4), 145–151.
- Sudhakar, H. H., Majumdar, P., Umesh, V., & Panda, K. (2014). Second to fourth digit ratio is a predictor of sporting ability in elite Indian male kabaddi players. *Asian Journal of Sports Medicine*, 5(3). <https://doi.org/10.5812/asjms.23073>
- Swaab, D. F. (2007). Sexual differentiation of the brain and behavior. *Best Practice & Research: Clinical Endocrinology and Metabolism* 21(3), 431–444. <https://doi.org/10.1016/j.beem.2007.04.003>
- Swift-Gallant, A., Johnson, B. A., Di Rita, V., & Breedlove, S. M. (2020). Through a glass, darkly: Human digit ratios reflect prenatal androgens, imperfectly. *Hormones and Behavior*, 119, 104686. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2020.104686>
- Tamiya, R., Lee, S. Y., & Ohtake, F. (2012). Second to fourth digit ratio and the sporting success of sumo wrestlers. *Evolution and Human Behavior*, 33(2), 130–136. <https://doi.org/10.1016/j.evolhumbehav.2011.07.003>
- Tomkinson, J. M., & Tomkinson, G. R. (2017). Digit ratio (2D:4D) and muscular strength in adolescent boys. *Early Human Development*, 113, 7–9. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2017.07.013>
- Valla, J. M., & Ceci, S. J. (2011). Can sex differences in science be tied to the long reach of prenatal hormones? Brain organization theory, digit ratio (2D/4D), and sex differences in preferences and cognition. *Perspectives on Psychological Science*, 6(2), 134–146. <https://doi.org/10.1177/1745691611400236>
- Vanderschueren, D., Vandenput, L., Boonen, S., Lindberg, M. K., Bouillon, R., & Ohlsson, C. (2004). Androgens and bone. *Endocrine Reviews*, 25(3), 389–425. <https://doi.org/10.1210/er.2003-0003>
- Verona, E., & Curtin, J. J. (2006). Gender differences in the negative affective priming of aggressive behavior. *Emotion*, 6(1), 115–124. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.6.1.115>

- Voracek, M., & Loibl, L. M. (2009). Scientometric analysis and bibliography of digit ratio (2D:4D) research, 1998-2008. *Psychological Reports*, 104(3), 922–956. <https://doi.org/10.2466/PR0.104.3.922-956>
- Voracek, M., Manning, J., & Ponocny, I. (2005). Digit ratio (2D:4D) in homosexual and heterosexual men from Austria. *Archives of Sexual Behavior*, 34(3), 335–340. <https://doi.org/10.1007/s10508-005-3122-x>
- Voracek, M., Reimer, B., & Dressler, S. G. (2010). Digit ratio (2D:4D) predicts sporting success among female fencers independent from physical, experience, and personality factors. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 20(6), 853–860. <https://doi.org/10.1111/J.1600-0838.2009.01031.X>
- Walters, K. A., Allan, C. M., & Handelsman, D. J. (2008). Androgen actions and the ovary. *Biology of Reproduction*, 78(3), 380–389. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.107.064089>
- Williams, A. M., & Reilly, T. (2000). Talent identification and development in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 18(9), 657–667. <https://doi.org/10.1080/02640410050120041>
- Wisløff, U., Helgerud, J., & Hoff, J. (1998). Strength and endurance of elite soccer players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(3), 462–467. <https://doi.org/10.1097/00005768-199803000-00019>
- Xu, Y., & Zheng, Y. (2016). The relationship between digit ratio (2D:4D) and sexual orientation in men from china. *Archives of Sexual Behavior*, 45(3), 735–741. <https://doi.org/10.1007/s10508-015-0535-z>
- Zhang, K., Yang, X., Zhang, M., Wang, C., Fang, P., Xue, M., Zhao, J., Gao, X., Pan, R., & Gong, P. (2019). Revisiting the relationships of 2D:4D with androgen receptor (AR) gene and current testosterone levels: Replication study and meta-analyses. *Journal of Neuroscience Research*, 98(2), 353–370. <https://doi.org/10.1002/jnr.24502>
- Zhao, D., Yu, K., Zhang, X., & Zheng, L. (2013). Digit ratio (2D:4D) and handgrip strength in Hani ethnicity. *PloS One*, 8(10), e77958. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077958>
- Zheng, Z., & Cohn, M. J. (2011). Developmental basis of sexually dimorphic digit ratios. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(39), 16289–16294. <https://doi.org/10.1073/pnas.1108312108>

Zitzmann, M. (2009). The role of the CAG repeat androgen receptor polymorphism in andrology. In M. J. Simpson (Ed.), *Frontiers of Hormone Research* (Vol. 37, pp. 52–71). Karger. <http://ww2.mcgill.ca/androgendb/>

Capítulo 2

2. Métodos

Tendo em conta a natureza desta investigação e a complexidade associada, este capítulo tem como finalidade apresentar, de forma clara e fundamentada, as metodologias utilizadas no desenvolvimento dos quatro estudos que compõem esta tese. A existência de diferentes abordagens metodológicas entre os estudos torna essencial a sua clarificação e a justificação das escolhas efetuadas.

2.1. Revisão sistemática de literatura

As revisões sistemáticas de literatura constituem um estudo amplamente reconhecido e valorizado na investigação científica, especialmente nas áreas da saúde, educação e desporto. Têm como principal objetivo identificar, avaliar criticamente e sintetizar, de forma rigorosa e transparente, toda a evidência relevante disponível. O Estudo 1 (*Associação entre o rácio 2D:4D e o desempenho desportivo em atletas: uma revisão sistemática e meta-análise*) foi conduzido em conformidade com as orientações fornecidas pelos Itens Preferenciais para Relatórios de Revisões Sistemáticas e Meta-Análises (PRISMA) (Page et al., 2021). O protocolo do estudo foi registado na plataforma Open Science Framework (Foster & Deardorff, 2017), demonstrando o compromisso com a transparência metodológica e a integridade da investigação (<https://doi.org/10.17605/OSF.IO/K6X4N>). Teve como foco responder a uma questão de investigação específica sobre o rácio 2D:4D e os parâmetros representativos de aptidão física e desenvolvimento desportivo em atletas de todas as idades e níveis competitivos, em qualquer disciplina desportiva. O estudo procurou identificar, selecionar e avaliar criticamente os estudos existentes; verificar e sintetizar os resultados disponíveis; bem como analisar a qualidade metodológica das investigações incluídas, com o intuito de, posteriormente, identificar lacunas no conhecimento atual.

Foram aplicados os seguintes critérios de inclusão:

- População: estudos que incluíssem participantes atletas (masculinos e/ou femininos), com grupo de controlo composto por atletas ou não atletas, de qualquer nível competitivo e modalidade desportiva. Os estudos deveriam

incorporar a medição do rácio 2D:4D na avaliação, bem como incluir baterias abrangentes de testes de aptidão física, tais como medições antropométricas, diferentes tipos de força muscular, testes de corrida, de resistência ou outros indicadores relevantes para a identificação de talentos desportivos.

- Desenho do estudo: foram considerados estudos observacionais, incluindo estudos transversais e longitudinais (retrospectivos ou prospetivos).
- Base de dados, idioma e data de publicação: a pesquisa foi realizada nas bases de dados eletrónicas *PubMed*, *Scopus*, *Web of Science* e *SPORTDiscus*. Foram incluídos estudos publicados em inglês, português ou espanhol, a partir de 1 de janeiro de 2001.

Critérios de exclusão:

- Estudos que não incluam a avaliação do rácio 2D:4D (dado que este é um critério essencial para a investigação proposta) relacionando-se antes com a conexão entre características biométricas e desempenho desportivo.
- Estudos que não avaliem características relacionadas à aptidão física, uma vez que o objetivo é analisar a relação entre essas características e o rácio 2D:4D.
- Estudos que não apresentam dados originais ou resultados específicos para a questão de investigação, como revisões sistemáticas, meta-análises, artigos de opinião e estudos de caso.

2.2. Estudos Quase-experimentais

O Estudo 2 (*Dígitos da Mão e Descritores de Tamanho Corporal no Jovem Atleta: O Efeito da Idade*), o Estudo 3 (*Relação entre a proporção de dígitos no futebol juvenil: comparações entre jogadores de elite e não-elite*) e o Estudo 4 (*Rácio 2D:4D como preditor de variabilidade inter-individual em indicadores de antropometria e aptidão física em jogadores adolescentes de hóquei em patins*), enquadram-se na categoria de estudos observacionais de corte transversal, nos quais a recolha de dados correu num único momento temporal, com o objetivo de observar e analisar a prevalência de determinadas características numa população de jovens atletas. Importa referir que, neste tipo de delineamento, não existe qualquer intervenção por parte do investigador, limitando-se à recolha e registo de dados disponíveis no momento da avaliação. Embora este tipo de estudo não permita estabelecer relações de causa e efeito, devido à ausência

de seguimento longitudinal, assumem um papel relevante na identificação de associações entre variáveis, contribuindo para uma melhor compreensão de fenómenos relevantes no contexto desportivo.

2.2.1. Participantes

A amostra do Estudo 2 foi constituída por 434 jovens atletas do sexo masculino, com idades compreendidas entre os 8 e os 17 anos, provenientes de várias modalidades desportivas: andebol ($n = 21$), basquetebol ($n = 121$), futebol ($n = 70$), hóquei em patins ($n = 71$), natação ($n = 59$) e ténis ($n = 92$). Os participantes apresentaram uma estatura média de $169,2 \pm 0,620$ cm e uma massa corporal média de $60,10 \pm 0,678$ kg.

A partir desta amostra, foram selecionados 70 jogadores de futebol do sexo masculino, caucasianos, com uma idade média de $15,10 \pm 0,63$ anos e nacionalidade portuguesa, para constituírem a amostra do Estudo 3. Para o Estudo 4 foram incluídos 36 jovens jogadores de hóquei em patins, igualmente caucasianos, com idades compreendidas entre os 13,53 e os 16,77 anos, à data da recolha dos dados.

2.2.2. Antropometria

A avaliação antropométrica dos atletas, nomeadamente através da medição da estatura, estatura sentada e massa corporal, assume um papel fundamental na caracterização morfológica. Nos Estudos 2, 3 e 4 a estatura foi mensurada com uma precisão de 0,1 cm, utilizando um estadiómetro Harpenden (modelo 98.603, Holtain Ltd, Crosswell, Reino Unido). A altura sentada foi determinada com um estadiómetro com banco integrado (Sitting Height Table Harpenden), também com precisão de 0,1 cm. A massa corporal foi avaliada com uma balança SECA (modelo 770, Hanover, MD, EUA), com precisão de 0,1 kg. No Estudo 4, além das medições anteriormente mencionadas, foram avaliadas as pregas de gordura subcutâneas (bicipital, tricipital, subescapular, supra-iliaca e gemelar), todas realizadas no lado direito do corpo com um adipómetro Lange (Lange Caliper, Cambridge Scientific Industries, Inc., Cambridge, MD, EUA). Os diâmetros bicondilares do úmero e do fémur foram obtidos através de um goniómetro, enquanto os perímetros do braço e da perna (géméo) foram medidos utilizando uma fita métrica flexível.

2.2.3. Medição dos dedos

Com o objetivo de assegurar a fiabilidade e a consistência do procedimento, as medições digitais (1D, 2D, 3D, 4D e 5D) foram realizadas por um especialista em Ciências do Desporto, recorrendo a uma régua de precisão Rotring, com sensibilidade de 0,01 mm. A avaliação foi conduzida de forma cega, ou seja, o observador não teve acesso a qualquer informação clínica ou desportiva dos participantes, garantindo assim a neutralidade e a imparcialidade na recolha dos dados. Previamente, foi realizado um período de treino do observador, durante o qual procedeu à medição de 200 radiografias da mão esquerda, com o intuito de reforçar a consistência das mensurações.

A mensuração de cada dedo foi efetuada osso a osso, abrangendo os metacarpos, bem como as falanges proximais, médias e distais, desde a extremidade proximal até à distal (Figura 5). Cada estrutura óssea foi medida duas vezes, sendo posteriormente calculada a média dos dois registos para garantir maior rigor e precisão na análise dos dados. As proporções digitais foram determinadas através do rácio entre os comprimentos dos dedos, obtido pela divisão do comprimento de um dedo pelo de outro. Foram calculadas as seguintes razões: 1D:2D, 1D:3D, 1D:4D, 1D:5D, 2D:3D, 2D:4D, 2D:5D, 3D:4D, 3D:5D e 4D:5D, conforme o protocolo descrito por Manning & Hill (2009). Foram excluídos da amostra todos os participantes cujas radiografias evidenciaram anomalias morfológicas, tais como fraturas ou deformações ósseas, em conformidade com os critérios metodológicos definidos por Joyce et al. (2013).



Figura 5. Medição dos dedos da mão esquerda por meio de radiografia.

2.2.4. Morfologia cardíaca

No estudo 4, com a finalidade de aprofundar a compreensão das possíveis associações entre marcadores biológicos e adaptações cardiovasculares ao treino em atletas com baixo 2D:4D e com alto 2D:4D, procedeu-se à avaliação da morfologia cardíaca através de ecocardiografia, com especial foco na análise do ventrículo esquerdo. Esta abordagem justifica-se pela evidência científica que sugere que a testosterona desempenha um papel significativo no crescimento do músculo cardíaco, influenciando, em particular, a massa e a espessura das paredes do ventrículo esquerdo. Adicionalmente, o rácio 2D:4D, considerado um marcador indireto da exposição pré-natal aos androgénios, tem sido associado a diversas características fisiológicas e desportivas, incluindo a capacidade de resposta cardiovascular ao exercício físico intenso. Indivíduos com menor rácio 2D:4D — indicando uma presumivelmente maior exposição à testosterona durante o desenvolvimento fetal — podem apresentar uma maior predisposição para a hipertrofia cardíaca fisiológica, fenómeno frequentemente observado em atletas de elite.

Ecocardiografia: a avaliação ecográfica foi efetuada a cada atleta em repouso, com um equipamento de ultrassom Vivid 3 com um transdutor de 1,5–3,6 MHz (GE Vingmed Ultrasound, Horten, Noruega). Os ecocardiogramas em modo M derivaram de imagens bidimensionais com visualização direta e foram registrados a 100 mm/s. As medidas da dimensão interna do ventrículo esquerdo no final da diástole, espessura da parede septal no final da diástole e espessura da parede posterior no final da diástole, foram obtidas seguindo recomendações da Sociedade Americana de Ecocardiografia (Lang et al., 2005). A MVE foi calculada através da seguinte equação (Devereux et al., 1986): $MVE = 0,8 \times \{ (1,04 [\text{Dimensão interna do ventrículo esquerdo} + \text{Parede Posterior} + \text{Septo interventricular}]^3 - (\text{Dimensão interna do ventrículo esquerdo})^3 \} + 0,6$.

Após um intervalo de uma semana, foram escolhidos aleatoriamente 10 indivíduos, e avaliados novamente pelo mesmo observador, para verificar a variabilidade intraobservador. A variabilidade relativa intraobservador para a dimensão interna do ventrículo esquerdo, da parede posterior e do septo interventricular foi de 0,3% (24,1 a 4,8%), 0,3% (24,2 a 4,8%) e 0,8% (26,5 a 8,1%), respetivamente.

2.2.5. Composição corporal

A ligação entre o rácio 2D:4D e o somatótipo está fundamentada na hipótese de que a exposição a androgénios, durante o desenvolvimento fetal, pode influenciar as características morfológicas e a distribuição de massa corporal. Estudos sugerem que uma maior exposição à testosterona fetal está associada a características somatotópicas predominantemente mesomórficas, caracterizadas por um maior desenvolvimento muscular e uma estrutura física mais robusta, atributos que podem ser vantajosos em determinadas modalidades desportivas. A análise das medidas de somatótipo assume relevância no Estudo 4, pois permite classificar e compreender a composição corporal dos atletas de hóquei em patins, avaliando a proporção entre massa muscular, gordura e ossos. Esta avaliação é crucial, pois fornece informações detalhadas sobre o perfil físico desses atletas, ajudando a identificar predisposições biológicas que possam influenciar o desempenho na prática desportiva desta modalidade.

Componentes do somatótipo: os três componentes do somatótipo, endomorfismo, mesomorfismo e ectomorfismo foram determinados antropometricamente de acordo com a técnica de Heath-Carter (Carter & Heath, 1990). O somatótipo antropométrico de Heath-Carter é calculado a partir de 10 dimensões: massa corporal; estatura; pregas de gordura subcutâneas tricipital; subescapular; suprailíaca e gemelar; diâmetros do úmero e do fêmur; e perímetros dos bíceps e dos gêmeos.

O endomorfismo refere-se à adiposidade relativa do corpo, a qual é determinada através da soma das três pregas subcutâneas (subescapular, tricipital e supra-iliaca), ajustada para a estatura do indivíduo. Este valor serve para descrever o grau relativo de gordura corporal. A fórmula para o cálculo do endomorfismo é a seguinte: $\text{Endomorfismo} = 0,1551 [X] - 0,0068 [X^2] + 0,0000014 [X^3]$. Onde $[X]$ representa a soma das três pregas subcutâneas ajustadas à estatura.

O mesomorfismo é calculado a partir dos diâmetros bicôndilo-umeral e bicôndilo-femoral (B-U e B-F), das circunferências dos bíceps e gêmeos corrigidas para as pregas de gordura subcutâneas do tríceps (B e G) e dos gêmeos, bem como da estatura (E). As quatro medidas dos membros são ajustadas de acordo com a estatura do indivíduo. Esta componente reflete o grau relativo de desenvolvimento muscular, ósseo e de tecido conjuntivo do corpo. A fórmula para o cálculo do mesomorfismo é a seguinte: $\text{Mesomorfismo} = 0,858 \times [B-U] + 0,601 \times [F] + 0,188 \times [B] + 0,161 \times [G] - 0,131 \times [E] + 4,5$.

O ectomorfismo é calculado com base no índice ponderal recíproco (IPR), que é a estatura (E) em centímetros dividida pela massa corporal (MC) em quilogramas elevada à potência de $1/3$. Este componente descreve o grau de linearidade, esbeltez e fragilidade da compleição corporal, com baixo desenvolvimento muscular e predominância da área superficial em relação à massa corporal. A fórmula para o cálculo do IPR é a seguinte: $IPR = [E, \text{cm}] / [MC, \text{kg}]^{1/3}$. Com base no valor do IPR, as seguintes fórmulas são utilizadas para calcular o ectomorfismo: Se $IPR > 40,75$, utiliza-se: $ECTO = 0,732 [IPR] - 28,58$; Se $38,25 < IPR < 40,75$, utiliza-se: $ECTO = 0,463 [IPR] - 17,63$; Se $IPR < 38,25$, atribui-se o valor de 0,1 à primeira componente.

2.2.6. Testes de força

No Estudo 4, com o objetivo de compreender de que forma os fatores biológicos influenciam o desempenho físico e as predisposições para o sucesso em desportos que exigem força, como é o caso do hóquei em patins, foram realizados os seguintes testes de avaliação da força muscular:

Teste de abdominais em 60 segundos: a força e a resistência muscular abdominal foram avaliadas através do número de abdominais completos realizados em 60 segundos, conforme descrito no protocolo Eurofit (1988). Durante a execução do teste, os participantes estavam deitados de costas sobre um colchão, com os braços cruzados e as mãos posicionadas sobre os ombros. Os joelhos permaneciam fletidos, e os calcanhares tocavam o chão. Cada abdominal completo era contabilizado quando os cotovelos tocavam os joelhos.

Força de preensão manual: a força máxima isométrica de preensão foi avaliada utilizando um dinamômetro ajustável (modelo Lafayette, Lafayette, IN, EUA). Os atletas estavam sentados de forma confortável, com o cotovelo fletido a 90° e o antebraço em posição neutra. Foram realizadas duas medições na mão dominante (a mão utilizada para escrever), sendo registado o valor médio das duas tentativas.

Lançamento de bola de 2 kg: o atleta, em pé, segurando a bola medicinal com ambas as mãos atrás da cabeça, realiza o lançamento com a máxima força possível, visando alcançar a maior distância possível (em cm) (Eurofit, 1988). Foram efetuados dois lançamentos, sendo registado o melhor resultado.

Dinamometria Isocinética: a avaliação da extensão e flexão isocinética concêntrica e excêntrica do joelho foi realizada utilizando um dinamômetro calibrado (Biodex System 3, Shirley, NY, EUA) a uma velocidade angular de 60°s^{-1} , após um

período de aquecimento de 10 minutos em cicloergómetro (Monark, Varberg, Suécia), com resistência mínima a 60 rpm, seguido de dois minutos de alongamentos estáticos dos músculos isquiotibiais e quadríceps. Os participantes encontravam-se sentados, com a anca em flexão padronizada de 85° em relação à posição anatómica. A amplitude de movimento foi definida a partir da extensão máxima voluntária do joelho (0°) até a flexão máxima do joelho (90°). O amortecimento foi configurado com desaceleração forte, conforme as diretrizes do fabricante, sendo 90° a amplitude de movimento testada. Cada participante realizou cinco repetições máximas contínuas em cada membro inferior (Baltzopoulos et al., 1991). As estimativas de confiabilidade intraobservador (coeficiente de variação) para as ações musculares testadas apresentaram variações entre 3,9% e 6,0%. O pico de torque máximo de flexão e extensão do joelho, obtido na melhor repetição das ações musculares concêntricas e excêntricas, foi registrado e expresso em Newton-metro (Nm) (Aagaard et al., 1998).

2.2.7. Testes de corrida

No Estudo 4, foram igualmente aplicados testes de corrida, com o objetivo de avaliar a velocidade, a resistência cardiorrespiratória e a aptidão aeróbia dos atletas. Estes testes permitem aferir capacidades físicas determinantes para a prática do hóquei em patins, contribuindo para uma caracterização mais abrangente e precisa do perfil de desempenho dos atletas.

Corrida de 25 metros: a velocidade de deslocamento foi avaliada através de um sprint de 25 metros, iniciado a partir de uma posição de partida livre. O tempo de execução foi registado com recurso a células fotoelétricas (Globus Ergo Timer Timing System, Codognè, Itália). Cada participante realizou duas tentativas, sendo considerado o melhor tempo obtido.

Teste vaivém de 20 metros: este teste teve como objetivo avaliar a resistência cardiorrespiratória e a aptidão aeróbia dos participantes. Os atletas foram instruídos a correr entre duas linhas separadas por 20 metros, sincronizando o seu ritmo com sinais sonoros emitidos por um CD previamente gravado. A velocidade inicial foi estabelecida em 8,5 km/h, aumentando progressivamente em incrementos de 0,5 km/h por minuto. O teste foi conduzido em fases de um minuto, calibradas pelo CD. A prova foi interrompida quando o participante manifestou fadiga ou não conseguiu alcançar a linha de chegada em sincronia com o sinal sonoro em duas tentativas consecutivas. Os atletas foram

incentivados a manter o esforço até ao limite das suas capacidades, sendo registada a distância total percorrida (Léger et al., 1988).

Aptidão aeróbia: o pico de consumo de oxigénio ($\text{VO}_{2\text{pico}}$) foi determinado através de um teste de corrida incremental realizado numa passadeira motorizada (Quasar, HP Cosmos, Alemanha). O protocolo iniciou-se com uma fase de aquecimento de 2 minutos a 8 km/h, seguindo-se incrementos de velocidade de 2 km/h por minuto até atingir os 16 km/h. A partir deste ponto, a intensidade do exercício foi aumentada progressivamente através da elevação da inclinação da passadeira em 2° por minuto, até à exaustão voluntária dos participantes (Bourdon, 2012). A obtenção do $\text{VO}_{2\text{pico}}$ foi considerada válida quando se verificou pelo menos um dos seguintes critérios fisiológicos: (i) razão de troca respiratória (RER) $\geq 1,05$; (ii) frequência cardíaca (FC) dentro de 10% do valor máximo previsto para a idade; (iii) estabilização no consumo de oxigénio, apesar do aumento da intensidade do exercício, ou interrupção voluntária do esforço. O consumo de oxigénio e a produção de dióxido de carbono foram medidos a cada 10 segundos, utilizando um sistema de câmara de mistura (MetaMax System, Cortex Biophysics, Leipzig, Alemanha). A calibração do equipamento e as medições do ar ambiente foram realizadas antes de cada sessão de acordo com as recomendações do fabricante. O fluxo e o volume expiratório foram calibrados com uma seringa de 3 litros (Hans Rudolph, Kansas City, EUA), e os analisadores de gases foram ajustados com gases de referência de concentrações conhecidas. A frequência cardíaca foi monitorizada continuamente durante o teste com um dispositivo comercialmente disponível (Polar Electro, Finlândia).

2.3. Análise estatística

As análises estatísticas realizadas foram seleccionadas de acordo com os objetivos específicos de cada investigação (Tabela 1). No Estudo 1, os procedimentos estatísticos foram executados utilizando o *software* Review Manager 5.4.1 (RevMan [Programa de computador], Versão 5.4.1, The Cochrane Collaboration, 2020), enquanto nos estudos subsequentes foi utilizado o software IBM SPSS versão 27.0 (SPSS Inc., IBM Company, EUA).

Tabela 1. Métodos estatísticos utilizados nos estudos.

Análises	Estudos			
	1	2	3	4
Modelo de Efeitos Aleatórios	*			
Teste de heterogeneidade (I^2)	*			
Testes Z	*			
Teste Qui-quadrado (Qui^2)	*			
Correlação de Pearson		*		
Correlação parcial		*		
Teste t -independente			*	*
Magnitude do efeito (d de Cohen)			*	*

Capítulo 3

3.1. Estudo 1 - Associação entre o rácio 2D:4D e o desempenho desportivo em atletas. Uma revisão sistemática e meta-análise.

Bernardino, V., Rebelo, A., Duarte-Mendes, P., Cruz, J., Vaz, V., Valente-dos-Santos, J., & Coelho-e-Silva, M. J. (2025). Associação entre a relação 2D:4D e o desempenho desportivo em atletas. Uma revisão sistemática e metanálise. *Retos*, 65, 806–845.
<https://doi.org/10.47197/retos.v65.110121>

3.1.1. Resumo

A identificação de jovens atletas talentosos no desporto de alto rendimento requer uma abordagem multidisciplinar que considere a complexa combinação de características genéticas, psicológicas, físicas, técnicas e táticas, sendo o rácio 2D:4D uma possível ferramenta adicional. Este estudo visa analisar, através de uma revisão sistemática e meta-análise, as relações entre o rácio 2D:4D e várias capacidades físicas em atletas de diferentes idades e níveis competitivos. A pesquisa bibliográfica foi realizada nas bases de dados PubMed, Scopus, Web of Science e SPORTDiscus, com os artigos recuperados sendo importados para o software Cadima para otimizar a síntese de evidências e garantir rigor metodológico. A qualidade dos estudos foi avaliada utilizando a lista de “Downs e Black”, e a análise estatística da meta-análise foi efetuada com o modelo de Efeitos Aleatórios para considerar a variabilidade entre os estudos. Foram selecionados 67 estudos para a revisão da literatura, e 19 estudos, que avaliaram 3581 rácios 2D:4D, foram incluídos na meta-análise. Os principais resultados revelaram diferenças significativas entre homens e mulheres, com os homens apresentando valores de 2D:4D tipicamente mais baixos. Além disso, os atletas tendem a ter rácios 2D:4D inferiores em comparação com os não-atletas. Foram identificadas associações negativas entre o rácio 2D:4D e a capacidade aeróbia, VO₂máx, potência anaeróbia e força muscular, enquanto que as relações com velocidade, capacidade anaeróbia e flexibilidade mostraram-se menos consistentes.

Palavras chave: 2D:4D, testosterona fetal, aptidão física, identificação de talento desportivo.

3.1.2. Introdução

A identificação e o desenvolvimento de jovens atletas talentosos são pilares fundamentais para o sucesso no desporto de alto rendimento (Larkin & Reeves, 2018). Contudo, a definição de “talento desportivo” continua a ser objeto de debate, refletindo a complexidade e a dinâmica dos desportos coletivos, bem como a subjetividade associada ao desempenho de elite (Bohme, 2000, 2004, 2007; Fortin-Guichard et al., 2022). Atualmente, reconhece-se que o talento desportivo resulta da interação de fatores genéticos, fenotípicos, psicológicos, físicos, técnicos e táticos (Abbott et al., 2005), exigindo uma abordagem multidisciplinar para avaliar as capacidades e identificar áreas de melhoria dos atletas (Barracough et al., 2022).

Entre os indicadores potenciais de talento desportivo, o rácio 2D:4D, definido pela proporção entre o comprimento do segundo e do quarto dedos, tem sido alvo de crescente interesse (Manning et al., 1998). Em média, os homens apresentam um rácio mais baixo ($2D:4D < \text{mulheres}$), um traço atribuído aos níveis de testosterona e estrogénio durante o desenvolvimento intrauterino, que influenciam tanto o comprimento dos dedos como várias características físicas e comportamentais (Manning, 2002; Manning et al., 2014a). Este rácio é considerado estável ao longo da vida (McIntyre et al., 2005; Trivers et al., 2006) e tem sido associado ao desempenho em diversos domínios desportivos (Hsu et al., 2015; Manning & Hill, 2009; Schorer et al., 2013).

A exposição pré-natal à testosterona tem efeitos organizacionais de longo prazo nos sistemas cardiovascular, músculo-esquelético e nervoso central (Zheng & Cohn, 2011), importantes para a aptidão física e o desempenho. Estudos sugerem uma relação negativa entre o rácio 2D:4D e o desempenho desportivo, indicando que atletas com rácios mais baixos tendem a apresentar melhores resultados (Eklund et al., 2020; Hönekopp & Schuster, 2010a). Contudo, meta-análises apontam para associações fracas, com evidência de maior impacto em atividades que requerem resistência cardiorrespiratória, em comparação com exercícios de curta duração que demandam força muscular (Hönekopp & Schuster, 2010a; Pasanen et al., 2022).

Embora existam estudos que explorem a relação entre o rácio 2D:4D e diferentes componentes da aptidão física e comportamentais, ainda falta uma revisão abrangente que integre essas descobertas. Assim, o presente estudo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura e uma meta-análise para analisar as relações entre o rácio 2D:4D e indicadores como $VO_{2\text{máx}}$, velocidade, capacidade aeróbia e anaeróbia, força muscular, flexibilidade e agressividade em atletas de diferentes faixas etárias e níveis

competitivos. Com base na literatura existente, este estudo propõe as seguintes hipóteses: i) valores mais baixos de 2D:4D estão associados a um melhor desempenho nas diferentes componentes da aptidão física, incluindo força muscular, capacidade aeróbia, velocidade e flexibilidade, bem como a determinadas características comportamentais, como a agressividade; ii) existem diferenças significativas nos valores de 2D:4D entre atletas e não atletas; iii): o 2D:4D pode variar entre diferentes tipos de desportos ou categorias dentro de um mesmo desporto. Estas hipóteses servirão de base para a análise das relações entre o rácio 2D:4D e o desempenho físico em atletas de diferentes contextos, permitindo uma melhor compreensão do seu papel como potencial biomarcador para a aptidão física e desempenho desportivo.

3.1.3. Métodos

Protocolo e registo

Esta revisão sistemática foi conduzida em conformidade com as orientações fornecidas pelos Itens Preferenciais para Relatórios de Revisões Sistemáticas e Meta-Análises (PRISMA) (Page et al., 2021). O protocolo do estudo foi registado na plataforma Open Science Framework (Foster & Deardorff, 2017), demonstrando o compromisso com a transparência metodológica e a integridade da investigação (<https://doi.org/10.17605/OSF.IO/K6X4N>).

Fontes de informação

A pesquisa bibliográfica foi efetuada em quatro bases de dados eletrónicas (PubMed, Scopus, Web of Science e SPORTDiscus). As pesquisas foram realizadas de 1 de janeiro de 2001 a 31 de julho de 2023, garantindo a recolha da literatura mais recente e pertinente. Estudos publicados após esta data não foram considerados na revisão. Os termos-chave utilizados na pesquisa eletrónica foram: "Athletes", "Sports", "Competition", "Sporting", "Players", "Elite", "Amateur", "Collegiate", "Adult", "Young", "Youth", "Digit Ratio", "2D:4D", "2D/4D", "Sex Characteristics", "Age Factors", "Race Factors", "Athletic", "Performance", "Sports", "Anatomical", "Cognitive", "Behavioral", "Ability", "Anthropometrics", "Strength", "Running" e

"Training". Os procedimentos de pesquisa foram realizados pelo primeiro autor (V.B.) e pelo segundo autor (A.R.) entre 1 e 31 de agosto de 2023.

Estratégia de pesquisa

Foi desenvolvida uma estratégia de pesquisa padronizada em todas as bases de dados mencionadas, incorporando termos alinhados com o quadro PICO (Population, Intervention, Comparison, Outcome, Study design), aprimorando o processo sistemático de pesquisa e orientando a extração de dados (Figura 6). Todos os artigos recuperados foram importados para o software CADIMA, uma ferramenta desenvolvida para aumentar a eficiência dos processos de síntese de evidências e facilitar a documentação de todas as atividades para maximizar a rigorosidade metodológica (Kohl et al., 2018). Os estudos duplicados foram automaticamente removidos. Os títulos e resumos dos artigos potencialmente relevantes foram analisados de forma independente por dois revisores (V.B. e A.R.). Discrepâncias entre os revisores foram resolvidas por meio de discussão, e, quando necessário, com a participação de um terceiro revisor (J.V.-d.-S.). Obtiveram-se cópias dos artigos em texto integral para todos aqueles que atenderam aos critérios de inclusão durante a triagem de títulos e resumos. A avaliação abrangente dos textos foi realizada independentemente por dois revisores (V.B. e A.R.), e eventuais discrepâncias foram resolvidas por consenso entre eles, com a intervenção do terceiro autor (J.V.-d.-S.), quando necessário.

Acrómio	Informação
P	Atletas (sexo masculino e/ou feminino, várias faixas etárias, praticantes de uma modalidade desportiva, níveis competitivos - atletas de elite e não elite).
I	Avaliar o impacto do rácio 2D:4D na integração de baterias e testes de aptidão física no processo de descoberta de talentos desportivos.
C	A comparação pode englobar diversas dimensões, incluindo a comparação do rácio 2D:4D entre diferentes géneros, raças, faixas etárias, níveis competitivos e disciplinas desportivas.
O	Resultados relacionados à capacidade aeróbia (VO ₂ máx), velocidade, capacidade anaeróbia, potência anaeróbia, força muscular, flexibilidade, agressividade e outras medidas pertinentes.
S	Apenas estudos observacionais serão incluídos, abrangendo estudos transversais ou estudos longitudinais retrospectivos/prospetivos.

Figura 6. Apresentação das características dos estudos incluídos na revisão de acordo com as diretrizes PICOS.

CrITÉRIOS de inclusão

Os critérios de inclusão englobam artigos científicos revistos por pares, escritos em inglês, português ou espanhol, e publicados após 1 de janeiro de 2001. O objetivo da revisão foi identificar estudos que abordassem comparações e/ou correlações entre o rácio 2D:4D e parâmetros representativos de aptidão física e desenvolvimento desportivo em atletas de todas as idades e níveis competitivos, em qualquer disciplina desportiva. Os estudos foram considerados elegíveis se os participantes fossem atletas (masculinos e/ou femininos), com um grupo de controlo composto por atletas ou não atletas, de qualquer nível de competição desportiva, independentemente da modalidade; e se incorporassem o 2D:4D na avaliação, assim como baterias abrangentes de testes de aptidão física, incluindo medições antropométricas, tipos de força muscular, testes de corrida, testes de resistência ou outros resultados relevantes para a descoberta de talentos desportivos. Além disso, estudos observacionais, como transversais ou longitudinais (retrospectivos/prospectivos), também foram considerados.

CrITÉRIOS de exclusão

Foram excluídos da presente análise estudos que não contemplem investigações que não incluam a avaliação da proporção 2D:4D; que não avaliem nenhuma característica referente à aptidão física; e estudos que não apresentem resultados pertinentes. Adicionalmente, serão excluídas análises de revisão, meta-análises, artigos de opinião e relatórios de caso.

Extração de dados

Foram estabelecidos critérios predefinidos para a extração de dados dos estudos incluídos, com o objetivo de garantir a consistência e a integridade das informações extraídas. A seguir são descritos os seis itens principais para a extração de dados, com maior detalhe sobre as variáveis e ferramentas utilizadas:

Informações gerais: para cada estudo incluído foram extraídos os seguintes dados: título do estudo, nomes dos autores, e ano de publicação. Estas informações foram essenciais para a identificação e categorização dos estudos.

Características da amostra: foram extraídos dados sobre o tamanho da amostra (número de participantes), a idade média ou a faixa etária dos atletas, e o local de recrutamento (como país ou região). Esses dados permitem compreender as características demográficas dos participantes e avaliar possíveis limitações ou vieses relacionados à amostra.

Modalidade desportiva: foi registrado o tipo de modalidade desportiva analisada em cada estudo, já que diferentes modalidades podem apresentar características distintas no que diz respeito ao desempenho físico e ao rácio 2D:4D. A classificação da modalidade ajudou a categorizar os estudos conforme o tipo de exigência física e os contextos desportivos.

Rácio 2D:4D: para cada estudo foram extraídas informações sobre o rácio 2D:4D, incluindo qual mão foi avaliada (mão direita ou esquerda) e o protocolo utilizado para medir o comprimento dos dedos (por exemplo, se foram usadas medições diretas ou imagens digitais). A descrição do protocolo é importante para garantir a comparabilidade entre os estudos.

Testes e instrumentos utilizados: foi feita uma análise detalhada dos testes e instrumentos utilizados para avaliar o desempenho desportivo. Isso incluiu, por exemplo, o tipo de teste físico utilizado (como teste de $VO_{2máx}$, força máxima, agilidade, etc.), os equipamentos e as metodologias empregadas para medir cada componente da aptidão física. A consistência na escolha dos instrumentos de medição é fundamental para avaliar a validade e a confiabilidade dos resultados dos estudos incluídos.

Resultados: foram extraídos os principais resultados de cada estudo, com ênfase nas correlações ou associações entre o rácio 2D:4D e os diferentes indicadores de desempenho desportivo (como $VO_{2máx}$, força muscular, flexibilidade, etc.). Para garantir a transparência, também foi coletada a medida de efeito (como o coeficiente de correlação ou valores de p) e outras estatísticas relevantes apresentadas nos estudos.

Avaliação do risco de viés

A qualidade metodológica foi avaliada mediante a utilização de uma versão adaptada da “checklist” de Downs e Black para avaliar a qualidade metodológica de intervenções em saúde. Esta lista de verificação foi validada para ser aplicada em desenhos de estudo observacionais (Downs & Black, 1998) e já foi previamente empregue na avaliação da qualidade metodológica em revisões sistemáticas que analisaram estudos transversais e longitudinais (Fox et al., 2014; Fox J et al., 2018). O número de itens da lista de verificação original pode ser ajustado conforme o âmbito e as necessidades da revisão sistemática, sendo que revisões sistemáticas anteriores utilizaram entre 10 a 15 itens (Fox et al., 2014; Page et al., 2021). Para esta revisão foram considerados pertinentes 11 itens da *checklist*. Cada item é pontuado como "1" (sim) ou "0" (não/incapaz de determinar), sendo as pontuações de cada um dos 11 itens somadas para fornecer a pontuação total de qualidade. A qualidade de cada artigo incluído foi avaliada de forma independente pelos dois autores (V.B. e A.R.) em relação à *checklist*. Qualquer discrepância nos resultados da avaliação de qualidade foi discutida e, em caso de falta de consenso, um terceiro autor (J.V.-d.-S.) foi consultado.

Análise estatística

A síntese dos resultados foi realizada através de meta-análise, com uma fundamentação baseada no objetivo de obter uma estimativa mais precisa do efeito da proporção 2D:4D no desempenho desportivo. Esta meta-análise foi realizada utilizando o modelo de Efeitos Aleatórios para considerar a variabilidade entre os estudos. O desvio médio padronizado (DMP) com um intervalo de confiança (IC) de 95% foi utilizado como medida de tamanho do efeito. A heterogeneidade entre os estudos foi avaliada utilizando o teste de heterogeneidade (I^2), que mede a proporção de variação total atribuída à heterogeneidade entre os estudos. Testes Z foram realizados para determinar a significância estatística dos efeitos gerais, enquanto o teste Qui-quadrado (Qui^2) foi utilizado para avaliar diferenças entre subgrupos (mãos direita e esquerda). O software Review Manager 5.4.1 (RevMan [Programa de computador]. Versão 5.4.1. The Cochrane Collaboration, 2020) foi utilizado para estas análises.

3.1.4. Resultados

Seleção dos estudos

As pesquisas realizadas nas bases de dados resultaram em 853 estudos. Posteriormente, procedeu-se à remoção automática e manual dos duplicados ($n = 299$). A seleção inicial com base no título e resumo resultou em 554 registos, levando à exclusão de 455 estudos. Os 109 artigos remanescentes foram integralmente avaliados, sendo que 42 não atenderam aos critérios de elegibilidade: (i) amostra não foi clara ou não representava atletas ($n = 18$); (ii) artigos que não avaliavam o 2D:4D e/ou componentes de atividade física ou desporto ($n = 15$); (iii) estudos não observacionais ($n = 8$); (iv) artigos não redigidos em inglês, português ou espanhol ($n = 1$). Por fim, 67 estudos foram selecionados para a presente revisão sistemática (Figura 7).

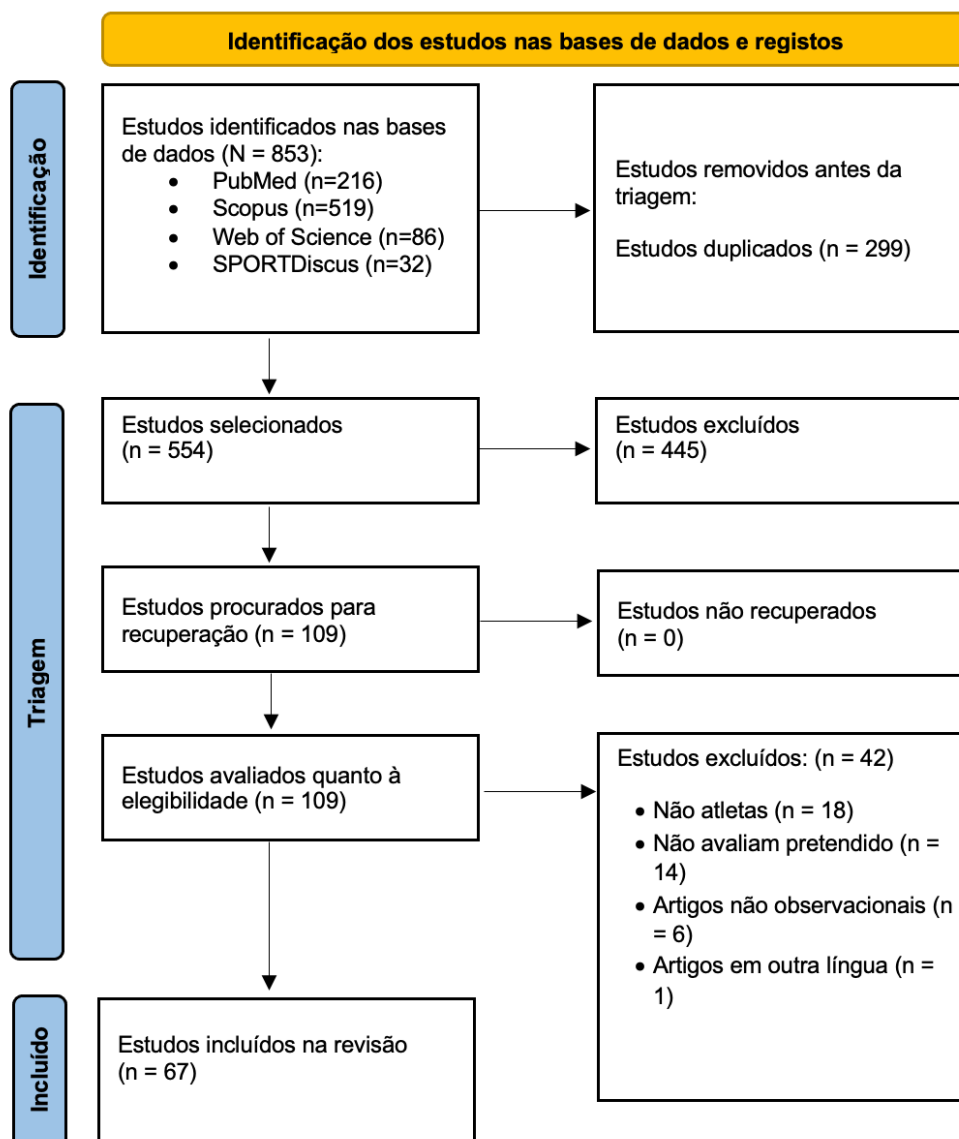


Figura 7. Identificação dos estudos nas bases de dados segundo as diretrizes PRISMA 2020.

Características do estudo

As características dos estudos, tais como: amostra, idade, modalidade desportiva, 2D:4D, testes e instrumentos, e resultados, foram resumidas e subdivididas em dois grupos para uma análise mais precisa e rigorosa. Num grupo a amostra consistia exclusivamente em atletas (n=42), enquanto no outro grupo a amostra abrangia atletas comparando com não atletas(n=25). Essas informações estão apresentadas nas Tabelas 2 e 4, respetivamente.

Tabela 2. Resumo de estudos com amostra exclusiva de atletas (n=42).

Título (nome autor e ano de publicação)	Características da amostra (tamanho, idade)	Modalidade desportiva	2D:4D		Testes e instrumentos utilizados para avaliação do desempenho desportivo	Resultados
			Mão avaliada	Protocolo utilizado na medição das mãos		
Relationships between digit ratio (2D:4D) and basketball performance in Australian men Frick et al. (2016) (1)	Atletas: Masculinos n=221 Idade: 18-40 anos Subgrupos: Internacional n=25 Recrutamento: jogos olímpicos e/ou campeonatos mundiais da federação internacional de basquetebol; Nacional n=50 Recrutamento: liga nacional; Estado n=88 Recrutamento: liga central; Social n=58 Recrutamento: competições recreativas da região de Adelaide	Basquetebol	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumento: fotocópias	Questionário: nível competitivo mais elevado alcançado, equipa de jogo e informações sobre a posição Estatísticas de jogo: pontos marcados, ressaltos, assistências, percentagem de acertos em arremessos de campo, percentagem de acertos em arremessos de três pontos, percentagem de acertos em lances livres, roubos de bola, bloqueios e <i>turnovers</i>	Correlação negativa entre o 2D:4D esquerdo e o nível competitivo Os atletas internacionais apresentam um 2D:4D esquerdo mais baixo que os atletas estado e social. Não houve correlações significativas entre o 2D:4D e a estatística de jogo ($r = -0,01(-0,07;0,05)$).
Mood States and Performance in Elite Canoe Polo Players: The Mediating Role of Stress	Atletas: Masculinos n= 16 Idade: $33,2 \pm 2,4$ anos Femininos n=16 Idade: $31,4 \pm 2,7$ anos	Canoagem	Direita	Medição indireta Instrumentos: <i>scanner</i> de mesa e paquímetro digital vernier 0-150 mm	Questionário: Avaliação psicológica do stresse (MPS) Humor	2D:4D foi significativamente menor nos atletas do sexo masculino do que nas atletas do sexo feminino ($0,92 \pm 0,02$ e $0,96 \pm 0,03$) ($t = -3,90$; $p = 0,001$).

Corrado et al. (2021) (2)	Recrutamento: competição nacional “ITALY CUP”					2D:4D, <i>stress</i> , tensão e variáveis de desempenho foram significativamente e positivamente relacionadas.
The relationship between the digit ratio (2D:4D) and vertical jump performance in young athletes Disterhaupt et al. (2021) (3)	Atletas: Masculinos n= 61 Idade: 19,9±1,4 anos Recrutamento: universidade North Dakota em futebol	Futebol	Direita	Medição indireta Instrumentos: fotografias digitais utilizando uma câmara Nikon Coolpix L11, de Tóquio, Japão	Teste saltos verticais: força-tempo, força máxima, gradiente inicial, gradiente de aceleração e taxa média e máxima de desenvolvimento de força Instrumento: Visual Basic da Microsoft Corp., com sede em Redmond, WA.	Atletas com 2D:4D mais baixos saltaram mais alto independentemente de sua idade, tamanho corporal e etnia ($r = -0,26$ (0,48; 0,01) (correlação estatisticamente significativa, fraca e negativa).
Relationships Between Digit Ratio (2D:4D) and Female Competitive Rowing Performance Hull et al. (2014) (4)	Atletas: Femininos n=69 Idade: 18,8±3,8 anos Subgrupo: Júniores n=47 Sêniores n= 22 Recrutamento: Australian Rowing Championships, “single scull”	Remo	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumentos: fotografias digitais utilizando uma câmara digital Canon PowerShot A2000 IS, num tripé (Canon, Tóquio, Japão).	Desempenho desportivo: tempo de prova de 2000 metros na modalidade <i>single scull</i> .	Nas atletas em geral, houve correlações positivas fracas a moderadas entre o 2D:4D direito e esquerdo e o tempo de corrida (intervalo: $r = 0,29-0,32$). Sêniores: correlações positivas moderadas a fortes (intervalo: $r = 0,42-0,55$). Júniores: correlações positivas fracas (intervalo: $r = 0,13-0,18$).
Digit ratio (2D:4D) and competition level in world-class female gymnasts Peeters et al. (2013) (5)	Atletas: Femininos n=201 Idade: 16,4 ±1,6 anos Subgrupo: Caucasianas n=154 Orientais n=31	Ginástica artística Subgrupo: obrigatório, trabalho livre, pontuações finais	Esquerda	Medição indireta Instrumentos: radiografias e paquímetro com precisão de 0,1 mm (John Bull British Indicators Ltd, Inglaterra)	Questionário: dados treino e competição Somatótipo (endomórfica, mesomórfica e ectomórfica) Instrumento: técnica de Heath-Carter.	Não houve diferenças significativas entre os três grupos na relação 2D:4D ($F = 0,13$ (0,920 a 0,923)).

	Negras/ etnia desconhecida n=16					
	Recrutamento: 24º campeonato mundial de ginástica artística					
Right–left digit ratio (2D:4D) and maximal oxygen uptake	Atletas: Masculinos n=41 Idade: 13,9±1,3 anos	Futebol Squash Ténis de mesa	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumento: fotocópias	Teste de exercício em passadeira Instrumento: PPS-55 Sport-I, Woodway, Weilam-Rhein, Alemanha,	Não houve relações significativas entre 2D:4D direito ou esquerdo e VO _{2máx} , V-VO _{2máx} ou LA _{máx} .
Hill et al. (2012) (6)	Recrutamento: “Academy for sports excellence” no Qatar	Atletismo			Amostras de sangue capilar Instrumento: analisador automatizado (Biosen, EKF-diagnostic GmbH, Barleben, Alemanha). Medições cardiorrespiratórias instrumento: sistema metabólico computadorizado (Oxycon Pro, Jaeger GmbH, Hoechberg, Alemanha).	O 2D:4D direita-esquerda foi significativamente negativamente relacionada com VO _{2máx} ($b=-0,33$; $t=2,09$; $p=0.04$), v-VO _{2máx} ($b=-0,047$; $t=3,25$; $p=0.003$) e LA _{máx} ($b=-0,50$; $t=3,48$; $p=0.001$).
Right–left digit ratio (2D:4D) predicts free testosterone levels associated with a physical challenge	Atletas: Masculinos n= 79 Idade: 24,12±3,72 Subgrupo: Grupo de desafio n=25 Grupo controlo n=54	Rugby	Direita e esquerda	Medição direta Instrumentos: paquímetro Vernier com precisão de 0,01 mm	Teste: 6 sprints de 40 metros com 30 s de recuperação entre cada sprint. Medição da testosterona livre, através da 2 ml de saliva Instrumento: kit comercial de imunoensaio enzimático (IBL, Hamburgo)	Relação significativa entre 2D:4D e log de testosterona livre Correlações significativas e negativas entre 2D: 4D direita-esquerda e log de testosterona livre, antes do desafio $r=-0,50$; 5 minutos após desafio $r=-0,54$ e 20 minutos após desafio $r=-0,40$.
Kilduff et al. (2012) (7)						

Digit ratio (2D:4D) and performance in male surfers Kilduff et al. (2011) (8)	Atletas: Masculinos n=46 Idade: 23,65±4,72 anos Recrutamento: Austrália, Brasil, Israel, África do Sul, Reino Unido, Havaí e EUA continental, todos caucasianos	Surf	Direita e esquerda	Medição direta Instrumentos: paquímetro (Mitutoyo 505-633-50) medindo 0,01 mm	Desempenho desportivo: Instrumento: Escala de 1–46; sendo 1=melhor	Correlação significativa elevada entre o 2D:4D direito e as classificações ($r_s=0,58$, $r^2=0,34$, $p=0,0001$), enquanto uma correlação moderada entre a massa corporal e as classificações ($r_s=0,32$, $r^2=0,10$, $p=0,03$). Em resumo, os surfistas com 2D:4D mais baixo e menor peso corporal foram os mais bem avaliados.
Does maturity estimation, 2D:4D and training load measures explain physical fitness changes of youth football players? Silva et al. (2022) (9)	Atletas: Masculinos n=27 Idade: 15,0 ± 0,4anos Recrutamento: campeonato Sub-15	Futebol	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumentos: fotografias digitais utilizando um <i>scanner</i> e <i>software</i> Kinovea	Quantificação da carga de treino Instrumento: escala CR-10 Borg, que se baseia na Taxa de Percepção Subjetiva de Esforço (PSE). Teste sentar e alcançar: avaliar a flexibilidade dos isquiotibiais Teste de aptidão intermitente 30-15 (30-15 IFT): avaliar a função cardiorrespiratória, capacidade anaeróbica, função neuromuscular e capacidade de recuperação Teste 505 COD modificado: mede a capacidade dos atletas na mudança de direção Teste Anaeróbio de Wingate: avaliar o desempenho anaeróbio dos atletas.	Não foram encontradas correlações significativas entre o 2D:4D em ambas as mãos e as medidas de aptidão física. teste sentar e alcançar: 2D:4D direita ($r=0,05$, $p=0,78$) 2D:4D esquerda ($r=0,10$, $p=0,57$); teste de velocidade de aptidão intermitente: 2D:4D direita ($r=-0,09$, $p=0,66$) e 2D:4D esquerda ($r=-0,24$, $p=0,23$); teste 505 COD: 2D:4D direita ($r=-0,06$, $p=0,74$) e 2D:4D esquerda ($r=0,03$, $p=0,88$); peak power: 2D:4D direita ($r=0,07$, $p=0,72$) e 2D:4D esquerda ($r=0,10$, $p=0,61$).
Relationships between the digit ratio (2D:4D) and game-related statistics in	Atletas: Masculinos n=93 Idade: 25±5 anos	Basquetebol	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumentos: fotografias digitais	Estatísticas do jogo: pontos, ressaltos, assistências, recuperações, roubos de bola, bloqueios, percentagens de lançamentos de campo	O 2D:4D direito e esquerdo apresentaram correlações negativas fracas a moderadas com pontos e assistências. Relações um pouco mais fortes

professional and semi-professional male basketball players	Recrutamento: The Australian National Basketball League” (NBL): principal liga profissional de basquetebol na Austrália; e da “South Australian Premier League” (PL): liga de basquetebol semi-profissional				(FG%), triplos (3FG%), lances livres (FT%), e média de minutos jogados.	foram observadas entre 2D:4D e estatísticas ofensivas (r [intervalo] parcial médio: -0,20 [-0,28 a -0,11]) do que entre 2D:4D e estatísticas defensivas (média r parcial [intervalo]: -0,09 [-0,14 a -0,03]). A média 2D:4D não diferiu entre jogadores titulares e reservas: diferença nas médias [IC 95%]: 2D:4Ddireita, 0,005 [-0,012, 0,022]; 2D:4Desquerda, -0,008 [-0,026, 0,010].
Anthropometrics related to the performance of a sample of male swimmers	Atletas: Masculinos n=21 Idade: 20,2±2,3 anos Recrutamento: “Natação Poseidon de Catânia”	Natação	Direita	Medição indireta Instrumentos: fotocópias e paquímetro com uma precisão de 0,2 mm	Humor Instrumento: Escala Perfil de Estados de Humor (POMS) Função executiva: teste da Torre de Londres (ToL)	Correlações estatisticamente significativas entre 2D:4D e a pontuação de desempenho, tempo de decisão e perturbação total do humor ($t=3,032$; $p=0,008$).
Perciavalle et al. (2014) (11)	Experiência: 4 anos				O Índice Ape: verificar a relação entre a envergadura do braço de um indivíduo e sua estatura. Desempenho desportivo: através do cálculo da diferença (em %) entre seu melhor desempenho em uma determinada braçada e distância, e o recorde italiano na mesma categoria.	

The second-to-fourth digit ratio correlates with aggressive behavior in professional soccer players Perciavalle et al. (2013) (12)	Atletas: Masculinos n=18 Origem: Seleção italiana de futebol	Futebol	Direita	Medição indireta Instrumentos: fotocópias e paquímetro com uma precisão de 0,2 mm	Desempenho desportivo: número e tempo de jogos, cartões amarelos e vermelhos registrados Avaliação hormonal: Saliva Instrumento: goma sem açúcar Agressividade: Instrumento: Teste de Frustração com imagens (24 desenhos que retratam situações de frustração)	Atletas com menor proporção 2D:4D tiveram maior número de faltas por jogo ($p=0,0385$). Correlação negativa significativa entre 2D:4D e concentração salivar de testosterona ($p=0,0002$) e agressividade extrapersistiva ($p=0,0482$).
Digit ratio (2D:4D), lateral preferences, and performance in fencing Voracek et al. (2006) (13)	Atletas: Masculinos n=37 Femininos n=17 Idade: 15-26,5 anos Subgrupo: Austriacos n=45 Alemãs n=9 Recrutados: Torneio internacional de "Sabre" em Villach e no campeonato nacional de esgrima na Áustria em Krems	Esgrima	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumentos: fotografias digitais e paquímetros digitais com uma precisão de medição de até 0,01 mm (Mitutoyo Ltd., Andover, Hampshire, Reino Unido; Modelo 500-191U)	Medidas de lateralidade Instrumento: Inventário de Preferência Lateral de Coren e teste de dominância da mão.	As correlações entre o 2D:4D direito e esquerdo e o desempenho na esgrima em homens e mulheres não revelaram significância estatística.
Endurance Running and Digit Ratio (2D:4D): Implications for Fetal Testosterone	Atletas: Masculinos n=16 Femininos n=11 Idade: 24,04±8,82 anos. Recrutados: Liverpool University Athletics Club e	Atletismo	Direita e esquerda	Medição direta Instrumento: paquímetros de aço medindo 0,01 mm	Desempenho no treino: corrida.	A relação entre o 2D:4D direito e a frequência de treino correlacionou-se com a posição final, indicando que atletas com 2D:4D mais baixo e uma prática mais frequente tendiam a alcançar posições mais elevadas

Effects on Running Speed and Vascular Health	Liverpool Harriers Athletics Club					no término. Além de uma associação negativa entre o 2D:4D e a frequência de treino (2D:4D direito: $b = -0.36$, $p = 0.07$; 2D:4D esquerdo: $b = -0.60$, $p = 0.01$).
Manning et al. (2007) Estudo 1 (14)						
Endurance Running and Digit Ratio (2D:4D): Implications for Fetal Testosterone Effects on Running Speed and Vascular Health	Atletas: Masculinos $n = 43$ Idade: 27.63 ± 10.25 anos Recrutados: Corridas de cross-country em Liverpool	Atletismo	Direita e esquerda	Medição direta Instrumento: paquímetros de aço medindo 0,01 mm	Posição final dos atletas.	Atletas com 2D:4D menor e treino frequente tendiam a terminar entre os primeiros (2D:4D direito: $b = -0.31$, $p = 0.02$; 2D:4D esquerdo: $b = -0.38$, $p = 0.01$). Análises de regressão múltipla revelaram que tanto o 2D:4D quanto a frequência de treinamento estavam independentemente associados à posição média final por participante.
Manning et al. (2007) Estudo 2						
Endurance Running and Digit Ratio (2D:4D): Implications for Fetal Testosterone Effects on Running Speed and Vascular Health	Atletas: Femininos $n = 40$ Idade: 33.58 ± 9.25 anos Recrutados: Lancaster e Morecambe Athletics Club	Atletismo	Direita e esquerda	Medição direta Instrumento: paquímetros de aço medindo 0,01 mm	Tempo de corrida.	Atletas com 2D:4D menor e treino frequente tendiam a terminar entre os primeiros, mas não houve relação significativa entre 2D:4D e a frequência de treino (2D:4D direito: $b = -0.25$, $p = 0.11$; 2D:4D esquerdo: $b = -0.02$, $p = 0.89$).
Manning et al. (2007) Estudo 3						

Soccer Players Awarded One or More Red Cards Exhibit Lower 2D:4D Ratios Mailhos et al. (2015) (15)	Atletas: Masculinos n=94 Idade: 15,33±1,15 anos Recrutados: vários escalões profissionais, no “Uruguayan soccer club”	Futebol	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumentos: <i>scanner</i> CanoScan LiDE 100 Canon, com resolução de 150 dpi.	Agressividade: número de cartões amarelos e vermelhos. Desempenho Desportivo: utilizou-se o número de minutos jogados por cada jogador em jogos oficiais.	Correlação negativa significativa (bilateral) entre 2D:4D e cartões amarelos por jogo, na mão direita ($r_{85} = 0,275, p = 0,011$), mas não se verificou na mão esquerda ($r_{85} = 0,180, p = 0,098$). Correlações significativas (bilaterais) entre 2D:4D e cartões vermelhos por jogo, tanto para a mão direita ($r_{86} = 0,215, p = 0,047$) como para a mão esquerda ($r_{86} = 0,237, p = 0,028$).
Relationships between the second to fourth digit ratio (2D:4D) and game-related statistics in semi-professional female basketball players Dyer et al. (2017) (16)	Atletas: Femininos n=74 Idade: 22±4 anos Recrutados: “Premier League” Experiência: 5 anos	Basquetebol	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumentos: fotografia digitais e Adobe Photoshop CC 2017 (Adobe Systems, San Jose, CA)	Questionário: informações demográficas e de desempenho, idade, etnia, equipa, posição e status de titularidade. Estatística de jogo: pontos, ressaltos, assistências, percentagens de acertos em arremessos de campo, lances de três pontos e lances livres, além de roubos de bola, bloqueios, turnovers e média de minutos jogados.	Correlação negativa moderada de 2D:4D direito e esquerdo e bloqueios, indica que mulheres com 2D:4Ds mais baixos registaram mais bloqueios. 2D:4D direito mostrou uma correlação fraca com percentagem de arremessos e rebotes, enquanto 2D:4D esquerdo apresentou correlação fraca com rebotes, sugerindo que mulheres com 2D:4Ds mais baixos foram mais eficientes e registraram mais rebotes. A média de 2D:4D variou com a posição, sendo que as titulares exibiram valores de 2D:4D direito mais baixos do que as reservas.
Can Our Fingers Alone Raise Us Up to the Sky? Analysis of the	Atletas: Masculinos n=132 Femininos n=48	Luta Greco-Romano n=60	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumentos: Scanner digital (Canon Lide 110,	Entrevista: informações sobre treino e experiência em competição	Diferenças de género: 2D:4D maior em homens (2D:4D direito: $p=0,009, t=-2,63$; 2D:4D esquerdo: $p=0,015, t=-$

Digit Ratio Association with Success in Olympic Wrestling	Recrutados: Campeonato Espanhol de Luta Livre	Estilo Livre n=120		Tokyo, Japão) e computador (GNU Image Manipulation Program, GIMP, versão 2.2.17)		2,45). Não se observaram diferenças significativas em 2D:4D e lutadores bem-sucedidos e não bem-sucedidos.
Cruz-Sánchez et al. (2015). (17)						
Exploring Finger Digit Ratios (2D:4D) in Surgeons, Professional Rugby Players, and Political Journalists to Form a Directional Hypothesis: Could Finger Length Predict Attention and Focus?	Atletas: Masculinos n=13 Idade: 26,4±2,6 anos Recrutados: clube profissional que compete na liga Super rugby, Australia.	Rugby	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumentos: fotocopiadora e conjunto de paquímetros (Mentone Educational, VIC, Austrália)	Treino com duração de 60 minutos, incluiu um aquecimento padronizado seguido por exercícios de força reativa, força em velocidade com baixa carga, força em velocidade com alta carga e exercícios de força máxima. Análise de testosterona e cortisol: amostra de saliva	O estudo não encontrou associações significativas entre as mudanças hormonais em resposta ao exercício e as proporções 2D:4D das mãos direita e esquerda. (2D:4D direito e a mudança no sal-T [$rs(11) = 0,01$, $p = 0,48$], mudança no sal-C [$rs(11) = -0,10$, $p = 0,37$], e mudança no T:C [$r = -0,03$, $p = 0,46$]; para o 2D:4D esquerdo com a mudança no sal-T [$rs(11) = -0,18$, $p = 0,28$], mudança no sal-C [$rs(11) = -0,06$, $p = 0,42$], e mudança no T:C [$rs(11) = 0,06$, $p = 0,42$]).
Serpell & Cook (2022) Estudo 1 (18)						
The Relationship between Digit Ratio (2D:4D), Anaerobic Power and Athletic	Atletas Masculinos n=250 Idade: 19,4±4,25 anos Experiência: 2 anos	Atletismo	Direita	Medição direta Instrumentos: paquímetro digital de precisão de 0,01 mm (Mitutoyo Absolute 700-	Desempenho desportivo: Potência anaeróbia: teste de salto vertical	As médias da relação 2D:4D não apresentaram correlações significativas com IMC, potência anaeróbia e pontuações de capacidade atlética ($r = -0,032$; $r = -0,006$; $r = -0,014$; $p < 0,05$).

Ability of Young Athletes				113-10, Mitutoyo America Corp, Plymouth, Mich)	Instrumento: medidor digital Takei	
Yurdakul et al. (2018) (19)					Potência anaeróbia: equação de Lewis	
					Teste de habilidade atlética: rolamento frontal, salto em zigue-zague, drible de basquetebol, cobrança de penaltis, passe na parede de voleibol, lance livre em andebol, passagem de barreiras e salto entre barras paralelas assimétricas	
Prenatal Testosterone and Sporting Success among Malaysian Rugby Athletes	Atletas Masculinos n=12 Idade: 23±1,54 anos Experiência: 2 anos. Recrutados: Seleção nacional da Malásia	Rugby de sete	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumentos: <i>scanner</i> Canon CanoScanLiDE 120, com alta resolução de 2400x4800dpi	Os atletas foram selecionados pelo treinador da equipa com base em critérios rigorosos e bem definidos. Como resultado, todos os jogadores foram classificados como jogadores de elite	Não foram observadas diferenças significativas entre o 2D:4D direito (0,92±0,027) e o 2D:4D esquerdo (0,93±0,026); $t=-1,654, p=0,126$.
Azam et al. (2019) (20)						
Digit Ratio (2D:4D) and Rowing Ergometer Performance in Males and Females	Atletas Masculinos n=77 Idade: 21,7±3,29 anos Femininos n= 70 Idade: 20,7±3,08 anos Recrutados: Universidade de Cambridge	Remo	Direita e esquerda	Medição direta	Desempenho desportivo: Teste de 2000 m em remoergómetro	Nos atletas masculinos, observou-se correlação positiva significativa entre o 2D:4D direito ($r = 0,50, p < 0,001$) e esquerdo ($r = 0,37, p < 0,001$) com o tempo de corrida de 2000 metros em remoergómetro.
Longman et al. (2011) (21)						Nos atletas femininos, não foram observadas correlações significativas entre o 2D:4D

						direito ($r = 0,031$, $p = 0,798$) e esquerdo ($r = -0,038$, $p = 0,755$) com o tempo 2.000 metros em remoergómetro.
Emotion and performance in sport: comparison between sportswomen	Atletas Femininos $n = 23$ Recrutados: equipas de desporto das Universidades “Foro Italico” de Roma e Catania	Sprinter $n = 11$ Corrida de longa distância $n = 12$		Medição indireta Instrumento: fotocópias	Agressão Instrumento: perfil de estados de humor Questionário da perturbação de humor	Os velocistas apresentam 2D:4D menor. Correlação significativa entre agressão e o 2D:4D nos velocistas ($r^2 = 0,5445$).
Attinà et al. (2013) (22)						
Second to fourth digit ratio and the sporting success of sumo wrestlers	Atletas Masculinos $n = 341$ Subgrupo: Divisões Makuuchi e Jyuryo	Lutadores de sumo	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumentos: fotografias e parquímetro com precisão de 0,1 mm	Registo das vitórias: através das competições desportivas reais.	Correlação negativa significativa entre 2D:4D e a percentagem de vitórias, e classificação. Em relação ao 2D:4D houve diferenças significativas entre os dois grupos ($F_{1,141} = 5,04$, $p = 0,022$, $\eta^2 = 0,036$).
Tamiya et al. (2012) (23)						
Digit Ratio (2D:4D) and Performance of Chinese Elite Archers	Atletas Masculinos $n = 15$ Femininos $n = 16$ Subgrupo: Classe mundial $n = 8$ Nível nacional $n = 15$ Nível 1 $n = 8$ Recrutados: Jogos Olímpicos de Tóquio 2020	Tiro ao arco	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumentos: câmara digital e programa Adobe Photoshop	Desempenho desportivo: flexões, abdominais declinados, meio agachamento e uma corrida de 4000 metros. Resultados de jogos: obtidos em eventos supervisionados por juizes internacionais.	Sem diferenças significativas no 2D:4D esquerdo entre atletas de diferentes níveis, mas diferença significativa entre atletas no 2D:4D direito ($p < 0,01$). Correlação negativa significativa entre 2D:4D direito e aptidão física específica ($p < 0,05$). Correlação negativa significativa entre 2D:4D direito e desempenho em torneios anteriores ($p < 0,01$) e séries eliminatórias olímpicas ($p < 0,01$).
Jin Wu et al. (2022) (24)						

Analysis of the 2D:4D Ratios of National and Amateur Football Players Acar et al. (2019) (25)	Atletas Masculinos n= 38 Idade: 13,59±0,81 anos Subgrupo: Nível nacionais n=19 Nível amador n=19	Futebol	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumentos: fotocópias e paquímetro	Foram realizadas medidas antropométricas que incluíram a estatura, o peso corporal, e foi calculado do índice de massa corporal.	Diferença estatisticamente significativa nos valores médios 2D:4D da mão direita e esquerda em jogadores de futebol nacionais e amadores ($p < 0,05$). As proporções 2D:4D da mão direita foram inferiores em ambos os grupos em comparação com as da mão esquerda. Também foi observada diferença estatisticamente significativa nas médias 2D:4D da mão direita entre jogadores de futebol nacionais e amadores ($p < 0,05$).
Relationship between 2D:4D ratio, handgrip strength, and hamstring muscle length in different sports: a study of volleyball, football and basketball branches Kurtoğlu et al. (2023) (26)	Atletas Masculinos n= 32 Femininos n= 31 Idade: 18-29 anos Recrutados: Universidade Bandırma Onyedi Eylül	Futebol n=20 Voleibol n= 21 Basquetebol n=22	Direita e esquerda	Medição direta Instrumentos: paquímetro Vernier com uma precisão de 0,01 mm	Teste força de preensão manual Instrumento: dinamômetro Medição do comprimento dos músculos isquiotibiais Instrumento: Baseline® (Cooper Institute/ YMCA, AAHPERD, Nova York, EUA).	A relação 2D:4D da mão esquerda revelou-se significativa para a força de preensão manual e o comprimento dos isquiotibiais no basquetebol ($r=-0,536$; $p < 0,010$). Adicionalmente, observou-se uma relação inversa moderada entre a idade desportiva no futebol e a relação 2D:4D da mão direita ($r=-0,575$; $p < 0,04$).
2D:4D Digital Length Index in Ball Sports	Atletas Masculinos n=204 Idade: 25,9±10,0 anos	Badminton n=15 Basquetebol n=35 Beisebol	Direita e esquerda	Medição direta Instrumento: paquímetro digital Sata® modelo 91511, com precisão de 0,01 mm	Teste de força de preensão manual Instrumento: dinamômetro digital Takei	O 2D:4D da mão esquerda, o 2D:4D da mão direita e a diferença entre ambas as mãos não demonstraram efeitos significativos com a força.

Bermúdez et al. (2020) (27)		n=7 Futebol n=17 Futsal n=18 Softball n=12 Squash n=5 Tênis n=13 Tênis de Mesa n=14 Voleibol n=68		Ltd., modelo Smedly III, com uma precisão de 0,1 kgf.		
The Relationship Between Some Physical Performance Parameters and 2D:4D Digit Ratio in Young Athletes	Atletas Masculinos n=179 Idade: 10-14 anos	Basquetebol Tênis Futebol Natação	Direita e esquerda	Medição direta Instrumentos: paquímetro digital (MAC Allister 150mm)	Medição flexibilidade Instrumento: “Digital Flexion Meter” (Takei) Salto altura Instrumento: Smart speed (Fusion Sports) Força de preensão manual Instrumento: dinamómetro Teste máxima flexão Instrumento: metrómetro Teste de abdominais Instrumento: metrómetro velocidade 20 metros Instrumento: Smart speed(Fusion Sport)	Não foram identificadas associações entre o 2D:4D (direito ou esquerdo) e os parâmetros de desempenho desportivo.
Ilhan et al. (2020) (28)						
Influence of 2D:4D ratio on fitness parameters and accumulated training load in elite youth soccer players	Atletas Masculinos n=24 Idade: 16,1±0,22 anos Subgrupos: Guarda-redes n=3 Avançados n=3 Médios-centro n=4 Defesas-centrais n=4	Futebol	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumentos: fotografias digitais e computador com o software Kinovea	Avaliação da expulsão dos membros inferiores: salto de contramovimento e testes isométricos de flexores e extensores do joelho. Instrumento: Standard Isokinetic Biodex System	Correlações entre a relação 2D:4D (esquerdo e direito) com as avaliações dos níveis de aptidão física. Músculos Isquiotibiais: r = -0,80; IC 95% = -0,91 a -0,59;

Nobari et al. (2021) (29)	Laterais n=5 Extremos n=5				modelo-3, fabricado nos EUA	$p \leq 0,001$ e $r = -0,78$; IC 95% = $-0,90$ a $-0,55$; $p \leq 0,001$.
					Avaliação do $VO_{2\text{máx}}$: teste de aptidão intermitente 30–15	Músculo Quadríceps: $r =$ $-0,63$; IC 95% = $-0,82$ a $-0,30$; $p=0,001$ e $r=-0,62$; IC 95% = $-$ $0,82$ a $-0,28$; $p=0,001$.
					Monitoramento de cargas de treinamento interno Instrumento: Escala CR-10 Borg	$VO_{2\text{máx}}$: $r = -0,55$; IC 95% = $-0,80$ a $-0,19$; $p=0,005$ e $r =$ $-0,50$; IC 95% = $-0,75$ a $-0,12$; $p=0,013$.
Association between 2D:4D ratios and sprinting, change of direction ability, aerobic fitness, and cumulative workloads in elite youth soccer players	Atletas Masculinos n=20 Idade: $13,26 \pm 0,19$ anos	Futebol	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumentos: fotografias digitais scanner (modelo 5590 HP Scanjet, Hewlett-Packard, Palo Alto, Califórnia, EUA) e computador com software Kinovea (versão 0.8.15)	Teste de sprint Instrumento: cronômetro digital acoplado a duas fotocélulas O teste 5-0-5: avaliar a habilidade (agilidade, velocidade e capacidade de mudança de direção) Avaliação do $VO_{2\text{máx}}$: teste de aptidão intermitente 30–15 Monitoramento de cargas de treinamento interno Instrumento: Escala CR-10 Borg	Não há correlações estatisticamente significativas entre 2D:4D direto e esquerdo a todas as variáveis estudadas $p >$ $0,05$).
Nobari et al. (2023) (30)						
The 2nd:4th Digit Ratio and Shooting Skill Performance in	Atletas Masculinos n=30 Femininos n=30 Idade: $15,04 \pm 1,69$ anos	Basquetebol	Direita e esquerda	Medição direta Instrumentos: paquímetro digital Vernier de 0-150 mm (EUA, Cocraft) com precisão de 0,01 mm	Avaliação de habilidades de arremesso de basquetebol: através de arremesso de lance livre Teste de Corrida de 20 metros	A proporção 2D:4D da mão direita é superior em meninas em comparação com meninos ($t=-2,529$; $p=0,02$). Há uma relação inversa significativa entre o Shuttle Run

Basketball Players						Test e as variáveis de proporção de 2D:4D da mão esquerda em todos os participantes ($t=-0,508$; $p=0,013$). Não foram encontradas relação significativa entre o Total Hit, o Shuttle Run Test e os parâmetros de proporção de 2D:4D nos participantes do sexo masculino e feminino ($p > 0,05$).
Ceylan et al. (2022) (31)						
Variation of digit ratio (2D:4D) in athletes and differences with sports groups	Atletas Masculinos n=792 Femininos n=386 Idade: $23 \pm 9,6$ anos Subgrupos: Resistência n= 267 Potência n= 354 Bola n= 344 Combate n=213	25 modalidades desportivas	Direita e esquerda	Medição direta Instrumentos: paquímetro eletrônico digital Vernier-Sata® (modelo: SATA 91511) com precisão de 0,01 mm	Questionário <i>ad hoc</i>	Homens: diferenças significativas no 2D:4D da mão esquerda entre grupos de Resistência, Potência e Combate em comparação com o grupo de Bola ($p < 0,001$; $p = 0,006$; $p = 0,003$). Mulheres: diferenças significativas no 2D:4D da mão direita entre grupos Bola e Resistência ($p = 0,028$), com tendência em Potência e Combate ($p = 0,095$; $p = 0,067$). No 2D:4D da mão esquerda, mulheres do grupo Bola diferiram de Potência e Combate ($p < 0,001$; $p = 0,002$), com tendência em relação à Resistência ($p = 0,090$).
Ramos et al. (2022) (32)						
Analysis of the relationship between 2D:4D finger length ratios and leg	Atletas n=40 atletas Idade: $22,97 \pm 2,34$ anos Experiência: >5 anos	Basquetebol n=10 Futebol n=18	Mão dominante	Medição direta Instrumentos: bússola digital sensível de 0,01 mm (Mar Cal 16 ER Digital Compass)	Medição da força de pernas: testes salto distância e salto vertical	Relação entre o comprimento dos dedos 4d e a força das pernas. dos atletas participantes do estudo ($r=0,631$).

strength among athletes		Voleibol n=12		Instrumento: dinamômetro da marca Takei, em Kg.		
Hürmüz Koç et al. (2017) (33)						
Digit Ratio Effects Between Expertise Levels in American Football Players	Atletas n=79 atletas Subgrupos: Primeira liga n=17 Idade: 22,7±3,1 anos	Futebol	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumentos: fotografias digitais utilizando uma câmara digital e computador com software MS Paint 5.1		Observou-se uma tendência nas ligas mais elevadas que exibiam menores 2D:4D. No entanto, análises de variância unicaudais revelaram diferenças significativas apenas para a mão esquerda ($F(3,75) = 3,57, p = 0,01, f = 0,38$), a mão direita não apresenta diferenças significativas entre grupos ($F(3,75) = 0,73, p = 0,27, f = 0,17, 1-\beta = 0,21$).
Schorer et al. (2013) (34)	Segunda liga n=24 Idade: 24,8±6,2 anos Quarta liga n=18 Idade: 26,4±5,0 anos Quinta liga n=20 Idade:24,4±5,9 anos					
Prenatal programming of sporting success: Associations of digit ratio (2D:4D), a putative marker for prenatal androgen action, with world rankings in female fencers	Atletas: Femininos n=87 Idade: 25,3±6.0 anos Origem: Copa do Mundo de Barcelona 2008	Esgrima	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumentos: fotocópias e paquímetro digital Vernier medindo até 0,01 mm	Estatística: Classificação mundial atual e melhor classificação mundial Teste de mão dominante Instrumento: Observação direta	Proporções de dígitos mais baixos associadas a classificações mundiais atuais e passadas mais elevadas, embora não estatisticamente significativas, classificação mundial atual: 2d:2d direito ($r=0,179$) 2D:4D esquerdo ($r=0,119$); melhor classificação mundial 2d:2d direito ($r=0,140$) 2D:4D esquerdo ($r=0,095$); ($p > 0,10$).
Bescós et al. (2009) (35)						

Memory, personality and blood lactate during a judo competition Coco et al. (2018) (36)	Atletas: Masculinos n= 132 Idade: 34,5±12,7 anos Femininos n=85 Idade: 30,1±14,4 anos	Judo	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumentos: fotocópias	Avaliação Psicométrica: escala de Procura de Sensação V (SSS-V) de Zuckermann, Medida de Stress Psicológico: questionário de auto-relato Lactato sanguíneo: analisador portátil “Lactate Pro”, (FACT Canada Consulting, Quesnel, BC, Canadá). Capacidades de memória de curto prazo: utilizando um notebook e a bateria de testes do software Attenzione e Concentrazione	Os resultados das correlações entre as razões 2D:4D da mão direita e esquerda e os fatores do teste SSS-V indicaram, para as mulheres, uma correlação negativa significativa do rácio 2D:4D com o fator Emoção (direita: $r=-0,895$, $p<0,001$; esquerda: $r=-0,578$, $p<0,001$) e correlação positiva com os fatores Experiência (direita: $r=0,892$, $p<0,001$; esquerda: $r=0,781$, $p<0,001$) e Desinibição (direita: $r=0,482$, $p<0,001$). Para os homens, foi encontrada uma correlação positiva entre a rácio 2D:4D da mão direita e os fatores Experiência ($r=0,203$, $p=0,045$), Desinibição ($r=0,295$, $p<0,001$), Tédio ($r=0,696$, $p<0,001$), e Hiperatividade ($r=0,261$, $p=0,038$).
The canonical correlation between the biological markers of performance and physical fitness in high level judo athletes Vecchio et al. (2011) (37)	Atletas: Masculinos n= 12 Femininos n=9 Idade: 24±4 anos	Judo	Direita e esquerda	Medição direta Instrumentos: paquímetro digital Vernier medindo até 0,01 mm	Condição física: Espessura das seis pregas cutâneas; 1RM Supino; Potência aeróbia de membros superiores; Potência aeróbia de membros inferiores; Altura do salto vertical; VO_{2max} ; Índice SJFT; Potência média no teste de Wingate; 1RM no agachamento; Tempo de suspensão	A média de 2D:4D (direita e esquerda) foi associada a um grupo de variáveis de aptidão física relevantes para o desempenho competitivo ($\rho_c = 0,999$, $p=0,0001$ e $\rho_c = 0,997$, $p=0,0001$).

Digit ratio (2D:4D): An indicator of serum testosterone and prenatal programming for specific sports Malik et al. (2012) (38)	Atletas: Masculinos n= 76 Idade: 21,2±1,63 anos Femininos n=62 Idade: 20,2±1,14 anos	Futebol n=76 Tiro ao arco n=62	Direita e esquerda	Medição direta Instrumentos: paquímetro digital	Testosterona total e testosterona livre: amostras de sangue	Foi observada uma diferença significativa na 2D:4D da mão direita entre jogadores de tiro com arco e handebol ($t = 6,96$, $p = 0,010$). As proporções dos dedos da mão esquerda no tiro com arco e nos jogadores de handebol diferiram significativamente ($t = 2,21$, $p = 0,05$). Uma relação negativa significativa foi encontrada entre os níveis de testosterona livre e as proporções dos dedos da mão esquerda ($r = -0,332$, $p = 0,05$), mão direita ($r = -0,454$, $p = 0,01$), e a média das proporções de ambos os lados ($r = -0,429$, $p = 0,01$). Relação negativa significativa foi observada entre os níveis de testosterona total e as proporções dos dedos da mão esquerda ($r = -0,496$, $p = 0,01$), mão direita ($r = -0,521$, $p = 0,01$) e a média das proporções de ambos os lados ($r = -0,519$, $p = 0,01$).
Exploring the organizational effect of prenatal testosterone upon the sporting brain Golby et al. (2011) (39)	Atletas: Masculinos n= 60 Femininos n=62 Subgrupos: Internacional/nacional n=23 Regional n=43 Escolar/recreativo N=56	Vários desportos incluindo Natação e Escalada.	Direita e esquerda	Medição direta Instrumentos: paquímetro Vernier com uma precisão de 0,01 mm	Resiliência Menta: Inventário de Desempenho Psicológico Alternativo e Questionário de Resiliência Mental Desportiva; Avaliação da Agressão através da Escala Buss-Perry; Avaliação do Otimismo através do Teste de	Houve um efeito multivariado significativo para a proporção dos dedos da mão direita, Wilks $\sqrt{\lambda} = 0,581$, $F(1, 121) = 4,04$, $p < 0,001$, η^2 parcial = 0,419, com diferenças significativas observadas em onze das dezassete variáveis dependentes. Determinação, autoconfiança,

					Orientação de Vida Revisado; Estratégia de Coping: avaliar emoções, resolução de problemas e evitar problemas; Orientação de objetivos: Questionário de Orientação de Tarefa e Ego no Desporto	cognição positiva, visualização, confiança, constância, controlo, otimismo, orientação para metas de ego, orientação para metas de tarefa, quanto maior a pontuação menor o 2D:4D, por último, a hostilidade quanto maior a sua pontuação, maior o 2D:4D.
Digit ratio (2D:4D) predicts sporting success among female fencers independent from physical, experience, and personality factors Voracek et al. (2010) (40)	Atletas: Masculinos n= 58 Femininos n=41 Idade: 24±11 anos Subgrupos: Espada n=41 Florete n=33 Sabre n= 25	Esgrima	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumentos: scanner e paquímetros digitais de alta precisão, com uma margem de erro de apenas 0,01 mm	Questionário informações pessoais: forma de esgrima, faixa etária atual de esgrima, intensidade de treinamento, anos de experiência em esgrima, e classificações nacionais de esgrima atuais e mais altas) e as medidas de personalidade. Desempenho desportivo: classificações nacionais Questionário de Personalidade Multidimensional: medição da personalidade (Social; Realização; Controlo; Evitar Riscos)	Os homens apresentam proporções de dígitos mais baixos em comparação com as mulheres. O 2D:4D direito nas atletas femininas é mais baixo quando associado a classificações mais elevadas tanto nas competições nacionais atuais quanto nas anteriores. Esses efeitos, embora não atingissem significância completa, aproximaram-se dela na análise correlacional de ordem de classificação ($r_s=0,330$ e $0,339$; P's bicaudais = $0,06$ e $0,05$).
Digit ratio (2D:4D) and mood states in elite female water polo players	Atletas: Femininos n=15 Idade: 22,93±7,33 Origem: vencedoras do título nacionais 10 anos consecutivos	Polo aquático	Direita	Medição indireta Instrumento: fotocópias	Humor: questionário de POMS (tensão-ansiedade, depressão-desânimo, raiva-hostilidade, vigor-atividade, fadiga-inércia e confusão-perplexidade)	Correlação significativa entre a relação 2D:4D e a raiva, nos meses de outubro ($r=0,756$; $p<0,01$) e março ($r=0,733$; $p<0,01$), mas o nível de significância não foi detetado em dezembro ($r=0,096$; $p>0,05$).

Corrado et al. (2013) (41)						
Relationships between Wnger-length ratios, ghrelin, leptin, IGF axis, and sex steroids in young male and female swimmers	Atletas: Masculinos n=26 Idade: 13,0±1,8 anos Femininos n=29 Idade: 12,7±2,2 anos	Natação	Direita	Medição indireta Instrumento: contorno da mão num papel	Avaliação hormonal: grelina, leptina, testosterona (meninos), estrogénio (meninas), IGF-I, índice de biodisponibilidade do IGF-I, IGFBP-3 e insulina	Nas raparigas, as correlações entre a grelina e 2D:4D ($r=0,48$; $p<0,05$), estrogénio e 2D:4D ($r=-0,49$; $p<0,05$) foram significativas após ajuste para idade e maturação biológica. O estrogénio em conjunto com a grelina correlacionaram-se com a proporção 2D:4D (30,0%). Nos rapazes, apenas o IGF-I e o IGFBP-3 correlacionaram-se com a relação 2D:4D ($r=0,42$; $p<0,05$) e ($r=0,44$; $p<0,05$), e, a grelina e a testosterona, em conjunto, explicaram 20,3% da variância na proporção 2D:4D.
Jürimäe et al. (2008) (42)						

A Tabela 2 sintetiza os dados de 42 estudos analisados, com a maioria a incidir sobre atletas do sexo masculino, especialmente adultos. Relativamente à mão avaliada, 34 estudos consideraram ambas as mãos, e os métodos de avaliação foram maioritariamente indiretos. O futebol destacou-se como a modalidade mais investigada, seguido pelo basquetebol e pelas artes marciais.

A Tabela 3 apresenta a distribuição detalhada dos estudos por categoria demográfica, mão avaliada, método de avaliação e modalidade desportiva.

Tabela 3. Distribuição dos Estudos por Categoria Demográfica, Mão Avaliada, Método de Avaliação e Modalidade Desportiva (n=42).

Categoria	Número estudos
Masculino - adulto	11
Masculino - jovem	7
Masculino – adulto/ jovem	1
Feminino - adulto	2
Feminino - jovem	1
Feminino – adulto/ jovem	8
Misto - adulto	9
Misto - jovem	3
Mão avaliada	
Direita	7
Esquerda	1
Ambas	34
Método de avaliação mão	
Direta	13
Indireta	29
Modalidade desportiva	
Futebol	8
Basquetebol	4
Artes marciais	4
Rugby	3
Esgrima	3
Atletismo	3
Modalidades variáveis	17

Tabela 4. Resumo de estudos com amostra de atletas e controlo não atletas (n=25).

Título (nome autor e ano de publicação)	Características da amostra (tamanho, idade)	Modalidade desportiva	2D:4D		Testes e instrumentos utilizados para avaliação do desempenho desportivo	Resultados
			Mão avaliada	Protocolo utilizado na medição das mãos		
Digit Ratio (2D:4D) and Physical Performance in Female Olympic Athletes Emma Eklund et al. (2020) (43)	Atletas: femininos n=104 Não atletas: femininos n=117 Idade: > 18 anos	Jogos olímpicos de verão ou inverno	Direita e esquerda	Medição direta Instrumento: paquímetro digital Vernier 0–150 mm (EUA, Cocraft) com precisão de 0,01 mm	Desempenho desportivo: saltos com contramovimento, saltos com agachamento, avaliação de força, com supino reto, barra fixa e corrida de 3000 metros.	Atletas apresentaram uma significativa diminuição na proporção 2D:4D na mão direita em comparação com os controlos ($0,98 \pm 0,04$) e ($0,97 \pm 0,03$) ($p = 0,032$). Foram observadas correlações negativas significativas entre o 2D:4D da mão direita e os exercícios de supino ($r = -0,36$, $p = 0,015$) e barra fixa ($r = -0,28$, $p = 0,05$), enquanto uma correlação positiva significativa foi encontrada com o desempenho na corrida de 3000 metros ($r = 0,51$, $p = 0,022$).
Exploring Finger Digit Ratios (2D:4D) in Surgeons, Professional Rugby Players, and Political Journalists to Form a Directional Hypothesis: Could Finger	Atletas: Masculinos n=29 Idade: $25,1 \pm 4,2$ anos Recrutados: clube profissional que compete na liga Super rugby, Australia. Não atletas: Ortopedistas n=16 Jornalistas políticos n=18	Rugby	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumentos: fotocopadora e conjunto de parquímetros (Mentone Educational, VIC, Austrália)		O teste <i>post hoc</i> de Bonferroni revelou que 2D:4D esquerda foi maior para os jornalistas políticos ($1,00 \pm 0,04$) em comparação com os jogadores de rugby ($0,96 \pm 0,04$) e os ortopedistas ($0,96 \pm 0,04$).

Length Predict Attention and Focus? Serpell &Cook (2022) Estudo 3 (18)						
Digit ratio (2D:4D) and performance in elite rugby players M. Bennett et al. (2010) (44)	Atletas: masculinos: n=44 Não atletas: masculinos: n=44 Idade: > 40 anos	Rugby	Direita e esquerda	Medição direta	Desempenho desportivo: avaliado considerando o número de jogos internacionais disputados por jogadores titulares e de segunda escolha a nível de clube, assim como o total de tentativas convertidas a nível de clube.	Jogadores têm menor 2D:4D do que controlos. Representação internacional correlaciona-se com 2D:4D mais baixo na mão direita. Jogadores de primeira escolha têm menor diferença direita-esquerda no 2D:4D em comparação com os de segunda escolha. Pontuação prolífica está associada a 2D:4D mais baixo.
Elite collegiate tennis athletes have lower 2D:4D ratios than those of nonathlete controls Cheng-chen Hsu et al. (2015) (45)	Atletas: masculinos n=82 femininos n=68 Subgrupo: Elite n= 43 Não elite n=107 Não atletas: masculinos: n=80 femininos: n=86 Idade: 18-22 anos	Ténis	Direta	Medição direta		Atletas universitários de ténis exibiram proporções 2D:4D significativamente inferiores aos não-atletas, os homens apresentam proporções mais baixas que as mulheres. Entre os homens, atletas de ténis universitário de elite mostraram 2D:4D mais baixo do que não- atletas, e, nas mulheres, atletas de ténis universitário de elite, atletas de ténis universitário não-elite apresentaram proporções 2D:4D mais baixas em comparação com não-atletas.

Varsity athletes have lower 2D:4D ratios than other university students	Atletas: masculinos (n=51) femininos n= 48 Não atletas: masculinos (n=53) femininos (n=69)	Atletismo	Direta	Medição direta		Os atletas apresentaram uma proporção 2D:4D significativamente menor em comparação com alunos não praticam desporto. Atletas universitários do sexo masculino exibiram uma proporção 2D:4D inferior aos homens não praticantes de desportos universitários ($0,97 \pm 0,004$ vs. $0,99 \pm 0,004$), enquanto as atletas universitárias do sexo feminino também tiveram uma proporção 2D:4D menor do que as mulheres não praticantes de desportos $0,98 \pm 0,005$ vs. $1,00 \pm 0,006$. Os atletas do sexo masculino mostraram uma proporção 2D:4D inferior em relação às atletas do sexo feminino.
Giffin et al. (2015) (46)						
The digit ratio (2D:4D) and testosterone co-predict vertical jump performance in athletic boys: Evidence of organizational and activational effects of testosterone on physical fitness	Atletas e não atletas: masculinos n=173 Idade: 9-18 anos	Voleibol Natação Biatlo Taekwondo Futebol	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumento: Fotocópias	A saliva foi coletada após um período mínimo de 90 minutos desde o despertar, seguindo orientações de jejum. Desempenho desportivo: três variações do teste de salto com contramovimento numa plataforma de força Kistler, incluindo salto com as mãos na cintura, CMJ padrão e salto de pico	Uma concentração mais elevada de testosterona, e proporções 2D:4D da mão direita baixo, mostraram associação com melhor desempenho no teste de salto com contramovimento. (2D:4D >1,0).

Crewther et al. (2022) (47)					
Digit ratio (2d: 4d) and performance in indian swimmers	Atletas: masculinos n= 30 femininos n= 26 idade: (18-25) anos	Natação	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumento: Scanner HP Scanjet e paquímetro vernier (Quasmo, Faixa 0–150 mm, Precisão ±0.05 mm)	Os nadadores indianos do sexo masculino têm uma proporção de dígitos significativamente inferior às nadadoras indianas do sexo feminino, mas não apresentam diferenças significativas nas proporções de dígitos.
Sudhakar et al. (2013) (48)	Não atletas: masculinos n= 25 femininos n=25				
The Second to Fourth Digit Ratio in Elite and Non-Elite Female Athletes	Atletas: femininos n=148 Subgrupo: Elite n=24 Não elite n=41	Judo n=8 Dança n=1 Voleibol n=3 Natação n=4 Vela n=3 Kick-boxing n=1	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumento: fotocópias	As atletas de elite tinham proporções 2D:4D significativamente mais baixas na mão esquerda em comparação com o grupo controle (1,00 vs. 1,02, P < 0,05). Embora as atletas de elite também apresentassem proporções mais baixas na mão esquerda em comparação com as não-elite, essa diferença não foi estatisticamente significativa (P = 0,09).
Leszek Ppkrywka et al. (2005) (49)	Não atletas: femininos n=73				
The ratio of 2 nd to 4 th digit length and performance in skiing	Atletas: masculinos n= 52 femininos n= 20 Não atletas: n=72	Ski	Direita e esquerda	Medição direta	O grupo dos esquiadores apresenta um rácio 2D:4D mais baixo quando comparado com o grupo de controlo, na mão direita (0,96±0,03 vs. 0,99±0,04) e esquerda (0,97±0,03 vs. 0,99±0,04). Os esquiadores masculinos também apresentam o 2D:4D mais baixo que as atletas femininas (mão direita: 0,97±0,04 vs. 0,99±0,05; mão esquerda: 0,98±0,03 vs. 0,99±0,04).
Manning (2002) (50)					

The Left Hand Second to Fourth Digit Ratio (2D:4D) Does Not Discriminate World-Class Female Gymnasts from Age Matched Sedentary Girls	Atletas: femininos n=129 Idade: 16,1±1,2 anos Não atletas: femininos n=129 Idade: 6-18 anos	Ginástica	Esquerda	Medição indireta Instrumento: radiografias e paquímetro com precisão de 0,1 mm (John Bull British Indicators Ltd, Inglaterra)	Somatótipo (endomórfica, mesomórfica e ectomórfica) Instrumento: técnica de Heath-Carter.	Ginastas são mais mesomórficas e ectomórficas, do que endomórficas em comparação com as meninas do grupo de controlo. Não há diferença estatisticamente significativa entre os grupos em relação à proporção de dígitos ($p>0.05$).
Maarten W. Peeters, et al. (2012) (51)						
College-aged women in the United States that play overhand throwing sports have masculine digit ratios	Atletas: femininos n=181 Não atletas: femininos n=77	Basquetebol Dança Hóquei no gelo, Lacrosse Remo Rugby Futebol Softball Patinagem no gelo Voleibol Pólo aquático	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumento: Imagens digitais com <i>scanner</i> Epson V550	Desempenho desportivo: questionário Participação em desportos competitivos Nível de competição desportiva: ensino médio, desporto universitário, desporto em clubes, titular ou reserva.	Não houve diferenças estatisticamente significativas entre não-atletas, atletas universitários e atletas de clubes no 2D:4D (2D:4D direita: $f=0,82$, $p=0,44$; 2D:4D esquerda: $F=1,35$, $p=0,26$). Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas, nas raparigas que praticaram desporto no ensino médio ou na faculdade, nomeadamente entre desportos individuais ou coletivos ($P>$ $0,24$), desportos de contato ou sem contato ($P> 0,16$), desportos com ou sem bola ($P> 0,06$), desportos com resultado determinado por pontuação ou por corrida ou determinados subjetivamente pelos juizes ($P >$
Michael P. Lombardo et al. (2018) (52)						

						0,28), ou entre titulares e reservas ($P > 0,52$).
2D:4D digit ratio and its relationship to BMI, sporting choices and physiological predispositions among women	Atletas: femininos n= 69 Não atletas: femininos n= 34 Idade: 22±6,38 anos	Futebol n=36 Voleibol n=33	Direita e esquerda	Medição direta	Desempenho desportivo: questionário	Na mão direita, os jogadores de voleibol apresentaram valores de 2D:4D significativamente mais altos (Média=0,987) em comparação com os jogadores de futebol (Média=0,968). Já na mão esquerda, as jogadoras de futebol tiveram valores significativamente mais baixos (Média=0,983) em comparação com os jogadores de voleibol (Média=1,001).
Agnieszka Tomaszewska & Anna Lubońska (2022) (53)						Correlação positiva estatisticamente significativa entre o Índice de Massa Corporal (IMC) e o índice 2D:4D para ambas as mãos ($r=0,332$; $p=0,001$ para a mão esquerda e $r=0,406$; $p<0,001$ para a mão direita). Esses resultados indicam uma relação proporcional entre valores mais baixos de IMC e valores menores de 2D:4D, e vice-versa.
Digit ratio in groups of sporting and non-sporting women and men and its relations with somatic	Atletas: masculinos n=404 femininos n=179 Não atletas: masculinos n=82 femininos n=111 Idade: 19-25 anos	Não específica	Direita e esquerda	Medição direta Instrumento: paquímetro Vernier, proporcionando uma precisão de 0,01 mm	Desempenho desportivo: Testes: sentar e alcançar, salto em distância em pé, abdominais e força de preensão de cada mão	Diferenças significativas no rácio 2D:4D entre atletas e não atletas, no sexo masculino como no feminino. Participantes desportivos exibiram proporções mais baixas, com mulheres. Atletas exibiram proporções mais baixas, nomeadamente as atletas femininas apresentam

features and motor fitness						uma proporção 2D:4D tipicamente masculina.
Mońka & Pietraszewska (2020) (54)						Houve correlações negativas entre a proporção de dígitos e testes motores, incluindo força de preensão manual e comprimento do salto em distância, em ambos os sexos.
Examining the effect of prenatal testosterone and aggression on sporting choice and sporting longevity	Atletas: n= 175 Subgrupo: Internacional/ nacional: n = 12 Regional: n = 110 Recreativo: n = 53 Não atletas: n=25	Badminton Basquetebol Golfe Musculação Boxe Futebol Rugby	Direita	Medição indireta Instrumento: fotocópias capturadas por um <i>scanner</i>	Desempenho desportivo: Questionário: Questionário de Agressão com 12 itens (BAQ)	A relação significativa e negativa entre a proporção 2D:4D e agressão física e verbal. Diferenças significativas no rácio 2D:4D entre atletas de desportos de contato (0,94±0,033) e sem contato (0,95±0,033), t (173) = -2,68, p=0,008.
Reed, Scott & Meggs, Jennifer (2017) (55)	Idade: 20,13±4,4 anos					
Ratio of second to fourth digit as a predictor of performance in elite indian volley ball players	Atletas: masculinos n=16 Idade: 23,75±5,29 anos Não atletas: masculinos n=25 Idade: 22,52±4,49 anos	Voleibol	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumento: imagens digitais e medição paquímetros Quasmo		Diferença significativa do rácio 2D:4D da mão direita e esquerda entre jogadores de voleibol e controles. Voleibol: (direita:0.9360 ± 0.0254 e esquerda: 0.9528 ± 0.0257) Controlos: (direita: 0.9743 ± 0.0194 e esquerda: 0.9787 ± 0.0182)
Panda et al. (2014) (56)						

Research on the relationship of the digit ratio and the throwing ability of throwing athlete in sports undergraduate college	Atletas e não atletas: masculinos n=200 femininos n=200 Idade: 17-25 anos	Lançamento do peso	Direita e esquerda	Medição direta Instrumento: paquímetro digital Vernier, proporcionando uma precisão de 0,01 mm	2D:4D menor no grupo de atletas, que o grupo de controlo (0.809±0.026; 0.967±0.038) No grupo de atletas, os homens apresentam o 2d<4D maior e as mulheres um 2D>4D maior, em ambas as mãos.
Jia Jia (2014) (57)					
Second to fourth digit ratio is a predictor of sporting ability in elite indian male kabaddi players	Atletas: masculinos n=33 Idade: 25,48±3,52 anos Não atletas: masculinos n=25 Idade: 22,52±4,29 anos	Kabaddi	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumento: Imagens digitais capturadas por scanner HP Scanjet Medição dos dedos: paquímetros Quasmo (Faixa 0 - 150 mm, precisão ± 0,05 mm)	Diferenças altamente significativa nas proporções 2D:4D de ambas as mãos, indicando que os jogadores de Kabaddi apresentaram proporções mais baixas do que os não atletas.
H. Sudhakar et al. (2014) (58)					
Second to fourth digit ratio confirms aggressive tendencies in patients with boxers fractures	Atletas: masculinos n=130 femininos n=20 Não atletas: masculino n=130 femininos n=20	Boxe	Direita	Medição indireta Instrumento: radiografias	Os atletas de boxe apresentaram as menores proporções 2D:4D, independentemente do sexo. As proporções 2D:4D para fraturas de atletas de boxe masculinos (0,922 ± 0,01) e femininas (0,948 ± 0,009) foram estatisticamente altamente significativas (p < 0,001). Esses grupos também exibiram proporções menores em comparação com os controlos (p
C.W. Joyce et al. (2013) (59)					

						< 0,001). A proporção 2D:4D para não atletas masculinos (controlo) foi ainda menor do que femininos (controlo), ($p < 0,05$).
Relationships between digit ratio (2D:4D), ACE gene polymorphism, and physical performance in the Korean population Wook Kim et al. (2011) (60)	Atletas: masculinos n= 88 femininos n= 63 Idade: 22.6±2.01 anos Não atletas: masculinos n= 95 femininos n=88 Idade: 20.9±2.45 anos	Grupo de SPA: n=77 Ginástica, Sprint, Velocidade curta distância em patins, Levantamento de peso, Lançamento peso, Grupo EMA: n=74 Badminton, Tênis de mesa, Taekwondo, Hóquei de campo, Handebol	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumento: fotocópias Medição dos dedos: paquímetro vernier de aço, com precisão de 0,01 mm	Análise genotípica do polimorfismo I/D do gene ACE Instrumentos: zaragatoas bucais	A proporção de dígitos (2D:4D) revelou uma diferença estatisticamente significativa entre os atletas de elite e os grupos controle ($p < 0,001$), embora não tenha sido observado um efeito genotípico do gene ACE na proporção de dígitos (2D:4D).
Second to fourth digit ratio and male ability in sport: implications for sexual selection in humans	Atletas: n=125 Não atletas: n=3	Corrida 45% Futebol 14% Artes marciais 10% Rugby 8% Tênis 8%, Natação 7% Hóquei 5%	Direita e esquerda	Medição direta Instrumento: paquímetro Vernier com uma precisão de 0,01 mm	Desempenho desportivo: Questionário, através de uma escala de 1 a 10, onde 10 indicava participação internacional. Esta escala, é utilizada na classificação de corredores de meia distância	A média da proporção 2D:4D foi próxima à norma populacional de homens de Liverpool, sem relação significativa com a idade. Contudo, foi observada uma relação negativa significativa entre a média da proporção 2D:4D nas mãos direita e esquerda e a

Manning & Taylor (2001) Estudo 1 (61)						classificação desportiva, indicando que homens com menor proporção 2D:4D apresentaram classificações desportivas mais altas.
Second to fourth digit ratio and male ability in sport: implications for sexual selection in humans	Não atletas: n=125	Futebol	Direita e esquerda	Medição direta Instrumento: paquímetro Vernier com uma precisão de 0,01 mm	Desempenho desportivo: Teste de Rotação Mental de Vandenberg (MRT, composto por 20 itens, num limite de tempo de 10 minutos)	Homens com menor proporção 2D:4D apresentaram pontuações mais altas no Teste de Rotação Mental em comparação com os que apresentam 2D:4D maior ($b=-83,87$, $F=20,17$, $P=0,0001$; Fig. 2). Jovens obtiveram pontuações superiores no MRT do que os homens mais velhos ($b=-0,25$, $F=11,59$, $P=0,0009$). Não foi identificada uma relação significativa entre a idade e a proporção 2D:4D ($b=-0,0003$, $F=0,72$, $P=0,40$).
Manning & Taylor (2001) Estudo 2						
Second to fourth digit ratio and male ability in sport: implications for sexual selection in humans	Atletas: masculinos n=304 Idade: $29,83 \pm 13,36$ anos Não atletas: masculinos n=533 Idade: $28,56 \pm 10,08$ anos	Futebol	Direita e esquerda	Medição direta Instrumento: paquímetro Vernier com uma precisão de 0,01 mm		Não foram encontradas evidências de associação o 2D:4D das mãos direita e esquerda e a idade na amostra completa ($b = 0,0001$, $F = 0,58$, $P = 0,37$). A média de 2D:4D foi significativamente menor em jogadores de futebol em comparação com os controlos (jogadores $0,95 \pm 0,03$, controlos $0,98 \pm 0,04$, $t=14,52$, $P=0,0001$). Jogadores internacionais apresentaram uma média de proporção 2D:4D inferior ($0,94 \pm 0,02$) em comparação com os não
Manning & Taylor (2001) Estudo 3						

						internacionais ($0,95 \pm 0,03$, $t=2,47$, $P=0,01$).
Anthropometrics, Performance, and Psychological Outcomes in Mixed Martial Arts Athletes Camarco et al. (2022) (62)	Atletas: masculinos $n=69$ Idade: 25 (18–39) anos Não atletas: masculino $n=53$ Idade: 22 (18–35) anos	Artes Marciais	Direita e esquerda	Medição direta Instrumento: paquímetro digital com precisão de 0,01 mm (Digimatic Caliper, série 500–196, Mitutoyo Corporation, Sakado, Japão)	Desempenho desportivo: Teste força de preensão manual Questionário: Inventário dos Cinco Grandes (BFI) é um modelo de personalidade que avalia cinco grandes traços de personalidade Questionário: Buss–Perry Aggression Questionnaire (BPAQ)	Os atletas masculinos de MMA exibiram proporções 2D:4D mais baixas em ambas as mãos, em comparação com o grupo controlo. A proporção 2D:4D da mão esquerda apresenta uma correlação negativa com a Força de Prensa Manual ($r = -0,43$, $p = 0,002$) e a Massa Corporal Magra ($r = -0,499$) em atletas profissionais, embora não tenha influenciado as vitórias no MMA. A raiva no BPQ correlacionou-se positivamente com a proporção 2D:4D em ambas as mãos, tanto em atletas profissionais quanto em não atletas.
The Second-to-Fourth Digit (2D:4D) Ratio of Male Combat Athletes is Associated with the Choice of Sport Adamczyk et al. (2020) (63)	Atletas: masculinos $n=200$ Idade: $20,45 \pm 5,26$ anos Não atletas: masculinos $n=179$ Idade: $22,20 \pm 1,85$ anos	Olympic wrestling, Kick-boxing, Judo, Taekwondo, Karate	Direita	Medição indireta Instrumento: fotografias digitais, câmara (Sony, DSC-WX80, 16,2 MPix)		A proporção 2D:4D dos atletas de combate foi significativamente inferior à do grupo controlo (grupo de controlo: $0,975 \pm 0,041$; atletas: $0,955 \pm 0,054$, $p=0,000073$).

The Second to Fourth Digit Ratio in Elite and Non-Elite Greco-Roman Wrestlers Mohammad Keshavarz (2017) (64)	Atletas: masculinos elite n=10 Idade: 25,6±1,8 anos Masculino universitários n=20 Idade: 22,1±1,1 anos Não atletas: masculinos n=40 Idade: 24,8±2,2 anos	Luta Greco-romana	Direita e esquerda	Medição indireta Instrumento: Scanner (100 dpi; HP Scanjet série 5590 Digital Flatbed Scanner, EUA), Medição dos dedos: computador com software Kinovea 0.8.15,		As razões 2D:4D na mão direita dos lutadores de elite foram mais baixas em comparação com atletas não-elite ($p = 0,004$; $d = 1,78$) e o grupo de controlo ($p < 0,0001$; $d = 3,16$). Além disso, as razões 2D:4D na mão esquerda dos lutadores de elite também foram mais baixas em comparação com atletas não-elite ($p = 0,002$; $d = 1,66$) e o grupo de controlo ($p < 0,0001$; $d = 2,00$).
Running head: 2D:4D and Aerobic Fitness in Young Adults: the relationship between digit ratio (2D:4D), vo_{2max} , ventilatory threshold, and running performance Holzapfel et al. (2016) (65)	Atletas: masculinos n=13 femininos n=13 Idade: 20,3±1,6 anos Não atletas: masculinos n=13 femininos n=15 Idade: 19,4±2,1 anos	Corrida	Direita e esquerda	Medição direta Instrumento: paquímetro digital de aço inoxidável (precisão: 0,01 mm; Modelo K01-101, Kbd Tools Co., Ltd., Jiangsu, China)	Desempenho desportivo: $VO_{2máx}$, VT e ToT Protocolo de Bruce (American College of Sports Medicine, 2013) numa passadeira Desmo HP Woodway (Woodway, Waukesha, WI)	Não foram observadas diferenças significativas entre homens e mulheres nas proporções 2D:4D. Corredores apresentaram ligeiramente proporções mais baixas, embora não significativas, apenas na mão esquerda. Não houve correlações significativas entre as medidas de 2D:4D e o $VO_{2máx}$. As correlações mais fortes foram encontradas entre a VT e as proporções 2D:4D em todos os participantes.
The relation between handgrip strength and selected hand-anthropometric	Atletas: masculinos n=121 femininos n=122 Idade: 18–25 anos	Softball	Não específica	Medição direta Instrumento: segundo técnicas padrão (Lohmann & Martorell, 1988)	Desempenho desportivo: teste força de preensão manual Instrumento: dinamómetro digital ajustável padrão	Diferenças estatisticamente significativas ($p \leq 0,05$) foram observadas entre jogadores masculinos de softball e os seus homólogos no grupo controlo (índice de forma, índice de

variables in indian inter-university softball players	Não atletas: masculinos n=98 femininos n=102			(Takei Scientific Instruments Co., LTD, Japão)	dígitos, proporção 2D:4D, largura palmar e proporção comprimento/largura palmar).
koley & Kumaar (2012) (66)					Entre jogadoras de softball e controlos houve diferenças estatisticamente significativas, em todas as variáveis estudadas, com exceção da idade, altura e proporção 2D:4D. ($p \leq 0,000$).
The association between athleticism, prenatal testosterone, and finger length	Atletas: masculinos n=94	Futebol americano n=30, Remo n=25, Ginástica n=24, Futebol n=15	Direita	Medição indireta Instrumento: fotocópias com um <i>scanner</i> HP2210 Flatbed All-InOne. Medição dos dedos: paquímetros Vernier	Foram encontradas diferenças significativas entre os grupos ($F(4,137) = 5.530$, $p = 0.000$). 2D:4D significativamente mais baixos foram identificados entre futebol e remo ($p = 0.000$), futebol e não atletas ($p = 0.030$), e ginástica e remo ($p = 0.001$).
Moffit & Swanik (2011) (67)					

A Tabela 4 apresenta uma síntese dos dados de 25 estudos analisados, que comparam atletas a um grupo de controlo composto por não atletas. A maioria dos estudos focou-se em atletas do sexo masculino, especialmente adultos. No que diz respeito à mão avaliada, 18 estudos analisaram ambas as mãos, e os métodos de avaliação foram predominantemente indiretos, representando 14 estudos. Vários estudos investigaram múltiplas modalidades desportivas, enquanto os restantes centraram-se numa única modalidade, destacando-se o futebol, as artes marciais e o basquetebol. Outras modalidades, como rugby, ténis, natação, ginástica, voleibol e softball, também foram analisadas.

A Tabela 5 apresenta a distribuição detalhada dos estudos por categoria demográfica, mão avaliada, método de avaliação e modalidade desportiva.

Tabela 5. Distribuição dos Estudos por Categoria Demográfica, Mão Avaliada, Método de Avaliação e Modalidade Desportiva (n=25).

Categoria	Número estudos
Masculino - adulto	7
Masculino – adulto/ jovem	3
Feminino - adulto	3
Feminino - jovem	2
Misto - adulto	8
Misto – adulto/ jovem	1
Não especificada	1
Mão avaliada	
Direita	6
Esquerda	1
Ambas	18
Método de avaliação mão	

Direta	11
Indireta	14
Modalidade desportiva	
Futebol	4
Artes marciais	4
Atletismo	4
Estudo com múltiplas modalidades	7
Diferentes modalidades, incluindo rugby, ténis e natação...	6

Verifica-se que sete estudos analisaram a capacidade aeróbia (Boscolo Del Vecchio et al., 2011; Ceylan et al., 2022; Eklund et al., 2020; Hull et al., 2015; Longman et al., 2011; Manning et al., 2007; Wu et al., 2022), através dos testes de corrida de 20, 2000, 3000 e 4000 metros e do salto com contramovimento. Alguns estudos identificaram uma correlação inversa entre o rácio 2D:4D e indicadores de capacidade aeróbia (Boscolo Del Vecchio et al., 2011; Ceylan et al., 2022; Manning et al., 2007; Wu et al., 2022), sugerindo que atletas com rácios mais baixos tendem a apresentar melhores desempenhos. Em contrapartida, Eklund et al. (2020), Hull et al. (2015) e Longman et al. (2011) observaram uma correlação positiva entre o rácio 2D:4D e o desempenho nos testes de corrida, indicando que atletas com rácios mais elevados poderão apresentar melhores resultados. Nove estudos avaliam a capacidade anaeróbia e sete estudos utilizam o teste de salto vertical ou teste de salto com contramovimento para avaliar a altura do salto (Boscolo Del Vecchio et al., 2011; Crewther et al., 2022; Disterhaupt et al., 2022; Eklund et al., 2020; Ilhan et al., 2020; Monka & Pietraszewska, 2020; Nobari et al., 2021a); um estudo opta pelo teste de Wingate, que utiliza um ciclo ergómetro para determinar o pico de potência (Silva et al., 2022); e outro estudo utiliza o teste de Lewis (Yurdakul et al., 2018), que envolve uma série de saltos consecutivos numa plataforma com o objetivo de medir a altura alcançada em cada salto para posteriormente calcular a potência anaeróbia

(Deore, 2015). Seis estudos analisaram o $VO_{2\text{máx}}$ através do teste de aptidão intermitente 30-15 e do teste da passadeira utilizando o protocolo de Bruce (Boscolo Del Vecchio et al., 2011; Hill et al., 2012; Holzapfel et al., 2016; Nobari et al., 2021a, 2023; Silva et al., 2022). Os resultados revelam uma correlação negativa significativa no 2D:4D_(direito-esquerdo) e o $VO_{2\text{máx}}$ (Hill et al., 2012), correlações negativas significativas (Boscolo Del Vecchio et al., 2011; Nobari et al., 2021a) e a não existência de correlação entre estas duas variáveis (Holzapfel et al., 2016; Nobari et al., 2023; Silva et al., 2022). Onze estudos investigaram a relação entre o 2D:4D e a força muscular (Camarco et al., 2022; Crewther et al., 2022; Eklund et al., 2020; Ilhan et al., 2020; Koç et al., 2017; Koley & Kumaar, 2012; Kurtoğlu & Çiftçi, 2023; Monka & Pietraszewska, 2020; Nobari et al., 2023; Ramos Bermúdez et al., 2020; Serpell & Cook, 2022). Seis estudos utilizaram o teste de força de prensão manual (Camarco et al., 2022; Ilhan et al., 2020; Koley & Kumaar, 2012; Kurtoğlu & Çiftçi, 2023; Monka & Pietraszewska, 2020; Ramos Bermúdez et al., 2020) que é considerado uma medida robusta da capacidade global (Bohannon, 2003) e um indicador importante de bem-estar físico, assim como no desempenho desportivo em modalidades onde a capacidade de agarrar e aplicar força é crucial (Soysal et al., 2021). E cinco estudos avaliaram a força através de testes de força dos membros inferiores por meio do salto em contramovimento ou força isocinética dos flexores/ extensores do joelho (Crewther et al., 2022; Eklund et al., 2020; Koç et al., 2017; Monka & Pietraszewska, 2020; Nobari et al., 2021a). Foram identificados onze estudos que investigam a relação entre o 2D:4D e o comportamento agressivo dos atletas, visando determinar a existência de correlação entre estas duas variáveis (Attinà et al., 2013; Camarco et al., 2022; Coco et al., 2018; Di Corrado et al., 2021; Di Corrado & Perciavalle, 2013; Golby & Meggs, 2011; Mailhos et al., 2016; Perciavalle et al., 2013, 2014; Reed et al., 2017; Voracek et al., 2010).

Todavia, os estudos apresentam uma variedade de testes para avaliar a agressividade, incluindo teste de avaliação psicológica de *stress* (Coco et al., 2018; Di Corrado et al., 2021), verificação dos cartões amarelos e vermelhos que os jogadores adquirem durante a época desportiva (Mailhos et al., 2016; Perciavalle et al., 2014), teste de frustração com imagens (Perciavalle et al., 2013), questionário de perfil, estados de humor (Attinà et al., 2013; Di Corrado & Perciavalle, 2013; Perciavalle et al., 2014), questionário de personalidade multidimensional (Voracek et al., 2010), questionário de

agressão (Reed et al., 2017) e escala Buss-Perry (Camarco et al., 2022; Golby & Meggs, 2011).

Risco de viés nos estudos

Utilizando a ferramenta de qualidade metodológica para intervenções em saúde, aplicou-se uma versão adaptada da “checklist” de Downs e Black (1998) para estudos observacionais. O risco de viés de cada estudo foi analisado individualmente, conforme detalhado nas Tabelas 6 (avaliação da qualidade metodológica dos artigos com atletas) e 7 (avaliação da qualidade metodológica dos artigos com grupo de atletas e grupo de controlo não atletas).

Tabela 6. Resultados da avaliação da qualidade metodológica dos artigos com atletas.

Estudos	Downs and Black (1998) número da pergunta da lista de verificação											Total
	Reporte						Validade		Viés validade			
							externa		interna			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Frick et al., 2016	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	8
Di Corrado et al., 2021	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	9
Disterhaupt et al., 2021	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	8
Hull et al., 2014	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	8
Peeters et al., 2013	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	8
Hill et al., 2012	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	8
Kilduff et al., 2012	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
Kilduffff et al., 2011	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
Silva et al., 2022	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	9
Klapprodt et al., 2018	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	8
Perciavalle et al., 2014	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	8
Perciavalle et al., 2013	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	8
Voracek et al., 2006	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
Manning et al., 2007	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	9
Mailhos et al., 2015	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
Dyer et al., 2017	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	8

Cruz-Sánchez et al., 2015	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
Serpell & Cook, 2022	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	5
Yurdakul et al., 2018	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	10
Azam et al., 2019	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	6
Longman et al., 2011	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
Attinà et al., 2013	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	6
Tamiya et al., 2012	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	6
Jin Wu et al., 2022	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	9
Acar et al., 2019	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	8
Kurtoğlu et al., 2023	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	9
Bermúdez et al., 2020	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	8
İlhan et al., 2020	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	6
Nobari et al., 2021	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	9
Nobari et al., 2023	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	10
Ceylan et al., 2022	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
Ramos et al., 2022	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	8
Koç et al., 2017	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	5
Schorer et al., 2013	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	6
Bescós et al., 2009	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	6
Coco et al., 2018	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	6
Vecchio et al., 2011	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	4
Malik et al., 2012	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	4
Golby et al., 2011	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	3
Voracek et al., 2010	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
Corrado et al., 2013	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	7
Jürimäe et al., 2008	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	8

Tabela 7. Resultados da avaliação da qualidade metodológica dos artigos com grupo de atletas e grupo de controlo não atletas.

Estudos	Downs and Black (1998) número da pergunta da lista de verificação											Total
	Reporte						Validade externa		Viés validade interna			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Eklund et al., 2020	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Serpell &Cook, 2022	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	5
Bennett et al., 2010	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	7
Hsu et al., 2015	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
Giffin et al., 2015	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	7
Crewther et al., 2022	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	6

Sudhakar et al., 2013	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	6
Ppkrywka, et al., 2005	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	7
Manning et al., 2002	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	10
Peeters et al., 2012	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	10
Lombardo et al., 2018	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	10
Tomaszewska & Lubońska, 2022	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	6
Mońka & Pietraszewska, 2020	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	6
Reed & Meggs, 2017	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	4
Panda et al., 2014	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	8
Jia, 2014	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
Sudhakar et al., 2014	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	8
Joyce et al., 2013	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	7
Kim et al., 2011	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	8
Manning & Taylor 2001	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	5
Camarco et al., 2022	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
Adamczyk et al., 2020	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
Keshavarz, 2017	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	9
Holzapfel et al., 2016	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	8
koley & Kumaar, 2012	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	7
Moffit & Swanik, 2011	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	7

A classificação geral da qualidade dos 67 estudos foi considerada boa. Destes, 24 estudos foram classificados como excelentes, 34 como bons, oito como razoáveis e apenas um como fraco. A categorização metodológica seguiu uma versão modificada da escala de Downs and Black (1998), considerando pontuações de 10–11 como excelentes, 7–9 como boas, 4–6 como razoáveis e 0–3 como fracas.

Meta- análise

Na meta-análise foram incorporados dezanove estudos, nos quais foram avaliados 3581 rácios 2D:4D (mão direita e mão esquerda) em atletas, e 3244 rácios 2D:4D (mão direita e mão esquerda) em indivíduos não atletas no grupo de controlo, sendo estes categorizados em subgrupos com base no género. Para participantes do sexo feminino, a meta-análise sintetizou dados de vários estudos que avaliaram a proporção digital 2D:4D em atletas e não atletas. A análise foi separada em subgrupos para as mãos direita e esquerda.

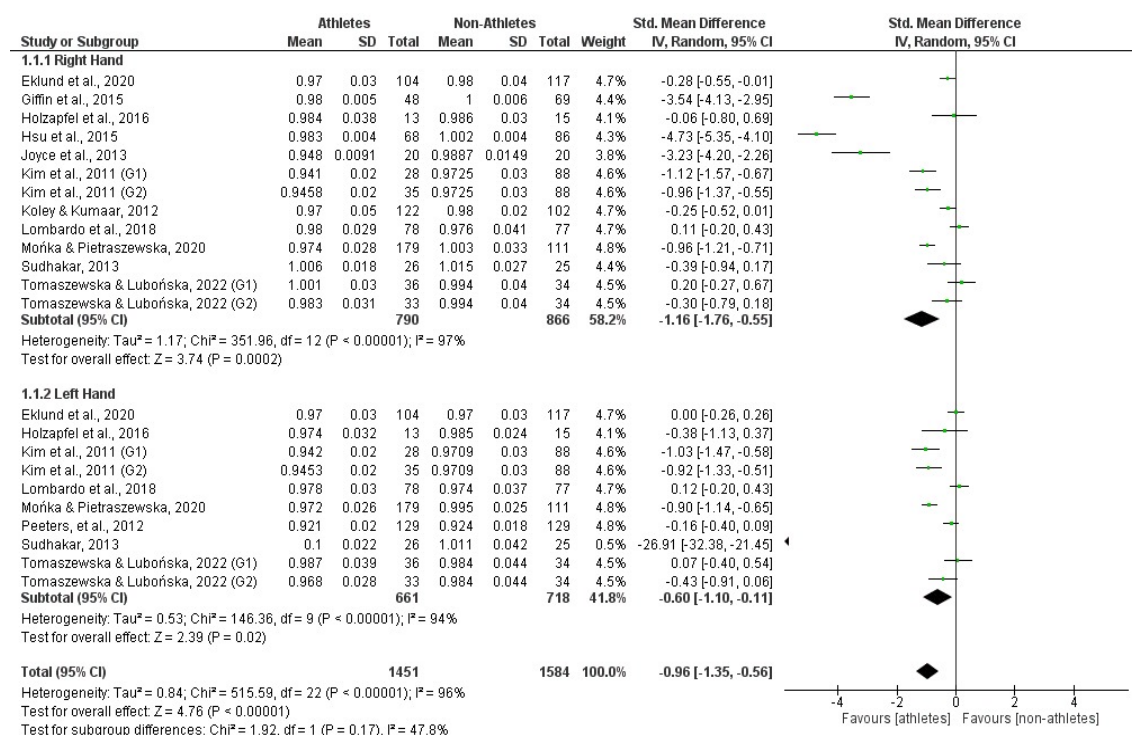


Figura 8. Diagrama de floresta da diferença média padronizada global [95% CI] para cada estudo observacional, que avaliaram o 2D:4D da mão direita e esquerda em atletas e não atletas do sexo feminino.

Para o subgrupo da mão direita, a meta-análise incluiu estudos com um total de 790 atletas e 866 não atletas. A diferença média padronizada (DMP) favoreceu atletas com um tamanho de efeito resumido de -1.16 (intervalo de confiança [IC] de 95%: -1.76 a -0.55), indicando uma menor proporção 2D:4D em atletas em comparação com não atletas. A heterogeneidade entre os estudos foi alta ($I^2 = 97\%$), e o efeito geral foi estatisticamente significativo ($Z = 3.74$, $P = 0.0002$).

Para o subgrupo da mão esquerda, dados de 661 atletas e 718 não atletas foram analisados. A DMP também favoreceu atletas, com um tamanho de efeito resumido de -0.60 (IC 95%: -1.10 a -0.11). Este subgrupo também apresentou alta heterogeneidade ($I^2 = 94\%$), e o efeito geral foi significativo ($Z = 2.39$, $P = 0.02$).

Combinando ambos os subgrupos da mão direita e esquerda, a amostra total consistiu em 1451 atletas e 1584 não atletas, com uma DMP geral de -0.96 (IC 95%: -1.35 a -0.56). A heterogeneidade permaneceu alta em toda a análise total ($I^2 = 96\%$), com um efeito geral estatisticamente significativo ($Z = 4.76$, $P < 0.00001$). O teste para diferenças entre subgrupos resultou em um Qui^2 de 1.92 com um valor de P de 0.17, sugerindo que a diferença nos efeitos entre as mãos direita e esquerda não foi estatisticamente significativa ($I^2 = 47.8\%$).

Para participantes do sexo masculino, a meta-análise consolidou dados de vários estudos que investigaram a proporção digital 2D:4D em atletas em comparação com não atletas, segregados em medidas da mão direita e esquerda.

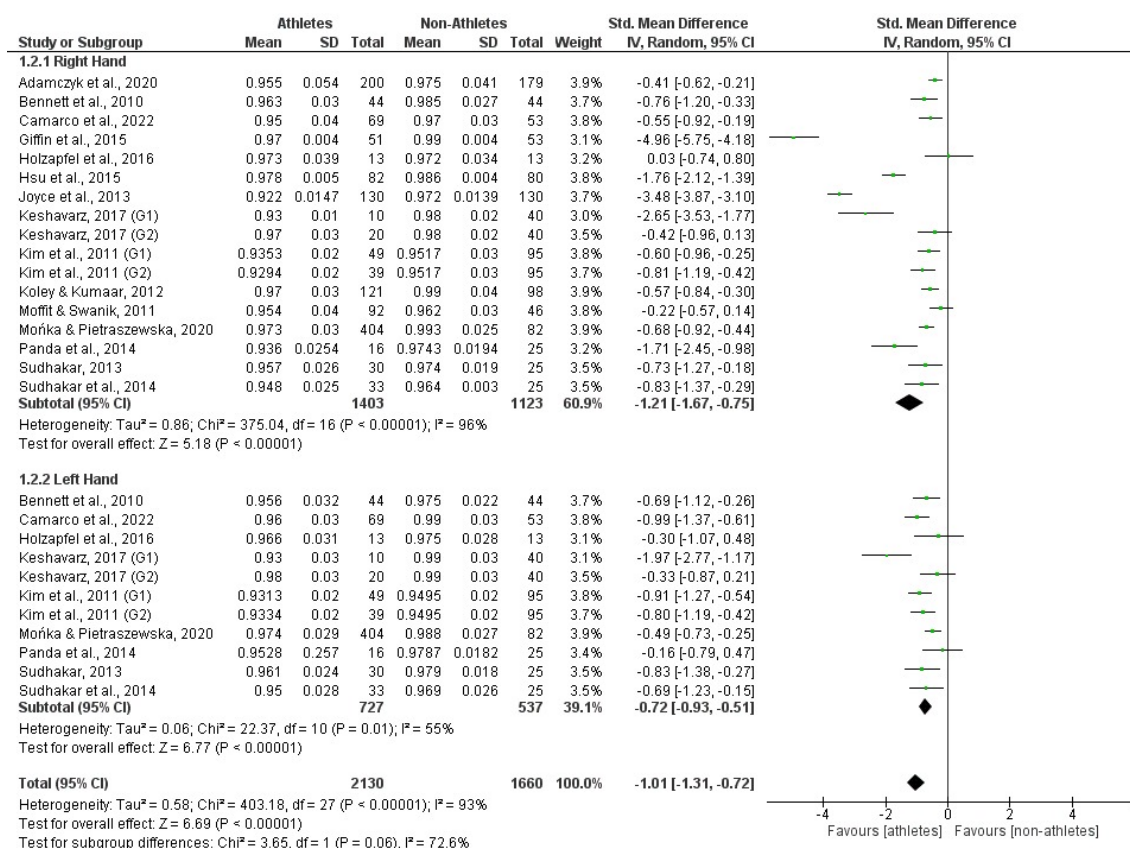


Figura 9. Diagrama de floresta da diferença média padronizada global [95% CI] para cada estudo observacional, que avaliaram o 2D:4D da mão direita e esquerda em atletas e não atletas do sexo masculino.

No subgrupo da mão direita, a meta-análise incorporou dados de 1403 atletas e 1123 não atletas. A diferença média padronizada (DMP) favoreceu atletas, com um tamanho de efeito resumido de -1.21 (intervalo de confiança [IC] de 95%: -1.67 a -0.75), indicando uma proporção 2D:4D mais baixa em atletas em comparação com não atletas.

Foi observada alta heterogeneidade entre os estudos ($I^2 = 96\%$), e o efeito geral foi estatisticamente significativo ($Z = 5.18$, $P < 0.00001$).

No subgrupo da mão esquerda, a análise envolveu 727 atletas e 537 não atletas. A DMP novamente favoreceu atletas, com um tamanho de efeito resumido de -0.72 (IC 95%: -0.93 a -0.51). Este subgrupo apresentou uma heterogeneidade moderada ($I^2 = 55\%$), e o efeito geral foi significativo ($Z = 6.77$, $P < 0.00001$).

Combinando dados de ambos os subgrupos da mão direita e esquerda, a amostra total agrupada consistiu em 2130 atletas e 1660 não atletas. A DMP geral foi -1.01 (IC 95%: -1.31 a -0.72), mantendo uma alta heterogeneidade entre os estudos ($I^2 = 93\%$). O efeito geral permaneceu altamente significativo ($Z = 6.69$, $P < 0.00001$). O teste para diferenças entre subgrupos indicou um Qui^2 de 3.65 com um valor de P de 0.06, sugerindo uma tendência para uma diferença nos efeitos entre as mãos direita e esquerda, embora isso não fosse estatisticamente significativo ($I^2 = 72.6\%$).

3.1.5. Discussão

O principal objetivo desta revisão da literatura com meta-análise foca-se na análise do rácio 2D:4D, considerado um potencial biomarcador dos níveis intrauterinos de testosterona, na capacidade aeróbia, no VO_{2max} , na velocidade, na capacidade anaeróbia, na potência anaeróbia, na força muscular, na flexibilidade e na agressividade em atletas de diferentes faixas etárias e níveis competitivos, de ambos os sexos. A importância deste estudo reside na possibilidade do 2D:4D ser um indicador de identificação de atletas promissores, tornando-se fundamental investigar a sua relação com várias componentes do desempenho desportivo (L. P. Kilduff et al., 2011; Manning & Hill, 2009; Manning & Taylor, 2001a; Trivers et al., 2013; Pablo Méndez Rodríguez et al., 2024).

Os principais resultados desta revisão com meta-análise evidenciam diferenças significativas no rácio 2D:4D entre homens e mulheres, com valores menores nos homens possivelmente devido à maior influência da testosterona pré-natal, como descrito por Manning et al. (2008). Atletas também apresentam rácios 2D:4D consistentemente menores em comparação com não atletas, tanto no sexo masculino como no feminino (Bennett et al., 2010; Güler, 2018; L. P. Kilduff et al., 2011; Voracek et al., 2010). Esses resultados corroboram a hipótese inicial, indicando uma relação entre menor rácio 2D:4D

e maior exposição à testosterona pré-natal, que pode influenciar características relacionadas ao desempenho desportivo (Fink et al., 2004; Voracek et al., 2005). Os valores de 2D:4D observados para participantes femininos variam entre 0,94 e 1,00 para atletas e 0,97-1,01 para não atletas na mão direita, enquanto na mão esquerda os valores variam entre 0,921 e 0,98 para atletas e 0,924 e 1,01 para não atletas (Eklund et al., 2020; Hsu et al., 2015; Monka & Pietraszewska, 2020; Tomaszewska & Lubońska, 2022). Nos participantes masculinos, os valores estão entre 0,92 e 0,98 para atletas e entre 0,95 e 0,99 para não atletas na mão direita, e entre 0,93 e 0,98 para atletas e entre 0,95 e 0,99 para não atletas na mão esquerda (Keshavarz et al., 2017; Panda et al., 2014; Sudhakar et al., 2014). Esses valores reforçam a ideia de que atletas possuem rácios menores em ambas as mãos, embora uma ligeira preferência pela mão direita tenha sido identificada, sem significância estatística. A menor proporção 2D:4D, influenciada pela testosterona pré-natal, está associada a características como maior competitividade, agressividade e habilidades cognitivas específicas, como navegação espacial e matemática (Manning, 2002, 2010; Manning & Fink, 2018a)). Estes resultados enfatizam a importância da exposição hormonal durante o desenvolvimento fetal na formação de características que podem favorecer o desempenho desportivo (Cohen-Bendahan et al., 2005; Zheng & Cohn, 2011b).

Ao analisar as associações entre o rácio 2D:4D e componentes de aptidão física, verificamos que os resultados apoiam a hipótese inicialmente formulada: valores mais baixos de 2D:4D estão associados a um maior desempenho nas diversas componentes da aptidão física, como força muscular, capacidade aeróbia, velocidade e flexibilidade e componentes comportamentais como a agressividade. No entanto, devido à diversidade metodológica observada nos estudos analisados, a discussão será organizada por componentes desportivas para facilitar a compreensão.

A capacidade aeróbia foi avaliada através de testes de corrida de 20, 3000 e 4000 metros, e 2000 metros em remo. A maioria dos estudos sugere uma correlação positiva entre o rácio 2D:4D e o desempenho, sugerindo que os atletas com rácios mais baixos podem apresentar melhores tempos na corrida (Boscolo Del Vecchio et al., 2011; Ceylan et al., 2022; Manning et al., 2007; Wu et al., 2022). Esta associação pode ser explicada pela exposição à testosterona pré-natal, que influencia a interação entre os sistemas cardiovascular, respiratório e muscular, promovendo características vantajosas, como

maior densidade muscular e capacidade de oxigenação (Sales & Tomaz, 2019). Por outro lado, estudos demonstram correlações negativas, como os realizados em atletas do sexo feminino e modalidades específicas como o *single scull*, podem refletir diferenças hormonais entre homens e mulheres, uma vez que a testosterona desempenha um papel menos proeminente no desenvolvimento cardiovascular feminino (Eklund et al., 2020; Hull et al., 2015). Essa divergência ressalta a necessidade de maior cuidado ao generalizar resultados de estudos com amostras distintas.

Estudos apontam para a existência de correlações negativas entre 2D:4D e o $VO_{2máx}$ (Boscolo Del Vecchio et al., 2011; Hill et al., 2012; Nobari et al., 2021a), justificando que quanto maior a exposição à testosterona intrauterina, maior a eficiência cardiorrespiratória e, por sua vez, menor o rácio 2D:4D. Durante o desenvolvimento fetal a testosterona influencia diretamente a formação do sistema cardiovascular, incluindo a estrutura das câmaras cardíacas, grandes vasos e a regulação da pressão arterial (Gebara et al., 2001; Schaible et al., 1984). Esses efeitos podem contribuir para uma capacidade aeróbia superior em indivíduos com menor rácio 2D:4D. Além disso, a testosterona pré-natal desempenha um papel importante no desenvolvimento dos pulmões, especialmente na formação dos alvéolos e na maturação do surfactante pulmonar, essencial para a troca de gases e a respiração eficiente após o nascimento (Gebara et al., 2001). Contudo, estudos que não encontraram correlação entre essas duas variáveis (Holzapfel et al., 2016; Nobari et al., 2023; Silva et al., 2022), tendem a ser baseados em amostras de pequena dimensão, com uma média de 52 participantes. Essa limitação metodológica pode comprometer a robustez das análises estatísticas, destacando a necessidade de estudos com maior número de participantes para validar os achados existentes.

Apenas três estudos estudaram a relação entre o rácio 2D:4D e a velocidade, sendo que nenhum deles revelou relações significativas entre as duas variáveis (L. Kilduff et al., 2013; Nobari et al., 2023; Silva et al., 2022). A falta de relações entre estes dois fatores pode ser atribuída à complexidade dos elementos que influenciam a velocidade, incluindo força muscular, técnica, coordenação, flexibilidade, eficiência biomecânica e fatores genéticos. Ou seja, o 2D:4D pode estar associado a exposição pré-natal da testosterona, mas não ser um determinante direto ou predominante da velocidade, quando comparado com outros fatores mais diretamente relacionados como a biomecânica ou fatores genéticos relacionados com a potência muscular ou o tipo de fibras musculares.

Além disso, a experiência desportiva, idade, técnica de corrida e treino específico também desempenham um papel importante na determinação da velocidade (Bompa, 2000). Esta escassez de evidências ressalta a necessidade de investigações adicionais para compreender melhor a possível influência do 2D:4D na performance atlética, considerando-se que a velocidade é uma medida crucial em várias modalidades desportivas (Lycholat, T, 2000). Portanto, são necessários estudos adicionais para preencher essa lacuna e fornecer uma compreensão mais abrangente sobre o papel do 2D:4D na velocidade.

Para investigar a relação entre o rácio 2D:4D e o desempenho anaeróbio, os estudos incluídos utilizaram o teste de salto com contramovimento para avaliar a potência anaeróbia e o teste de Wingate para avaliar a capacidade anaeróbia. Estudos demonstram associações negativas entre o rácio 2D:4D e a altura do salto, sugerindo que um 2D:4D menor está relacionado a um melhor desempenho em potência anaeróbia (Boscolo Del Vecchio et al., 2011; Crewther et al., 2022; Disterhaupt et al., 2022; Monka & Pietraszewska, 2020; Nobari et al., 2021a). Por outro lado, não foram encontradas correlações significativas entre o 2D:4D e a capacidade anaeróbia (Boscolo Del Vecchio et al., 2011; Silva et al., 2022). Possíveis explicações para esta diferença podem decorrer da natureza distinta dos testes. Embora ambos dependam da utilização de fibras musculares de contração rápida e sejam usados para avaliar o desempenho anaeróbio (Ratel, 2010), a correlação negativa entre o rácio 2D:4D e a potência anaeróbia pode ser explicada pela forte influência da testosterona pré-natal apenas no desenvolvimento da capacidade de gerar força explosiva, uma habilidade essencial para este tipo de salto. Em contraste, o teste de Wingate, além de avaliar a potência anaeróbia também avalia a capacidade anaeróbia e a fadiga muscular, dado que este teste tem uma duração de 30 segundos (Armstrong et al., 1997; Emerson, 2002). Como resultado, é necessário recorrer a outros fatores fisiológicos e metabólicos para além da potência, o que pode diminuir a correlação com o rácio 2D:4D. Além disso, fatores não considerados nos estudos, como diferenças individuais na composição corporal, níveis de atividade física, historial de treino e fatores genéticos, também podem influenciar a relação entre o 2D:4D e o sistema anaeróbio.

Nos estudos apresentados, verificaram-se diferenças significativas entre o rácio 2D:4D e a força da mão esquerda no teste de preensão manual (Camarco et al., 2022;

Kurtoğlu & Çiftçi, 2023). Há correlações negativas entre o 2D:4D e a força nos testes dos membros inferiores (Camarco et al., 2022; Nobari et al., 2021a), indicando que um menor rácio 2D:4D está associado a níveis mais altos de testosterona, o que pode estar relacionado com níveis superiores de massa muscular e força. Estudos mostram que a testosterona pré-natal influencia a regulação de vários genes esqueléticos responsáveis pelo crescimento e desenvolvimento de vários sistemas corporais, nomeadamente o sistema músculo-esquelético (Zheng & Cohn, 2011a). Uma elevada exposição à testosterona pré-natal potencializa a densidade muscular e o aumento da capacidade de força (Manning & Fink, 2018a). Nos restantes estudos, contudo, não foram encontradas relações significativas. Estas discrepâncias nos resultados podem ser atribuídas à diversidade dos testes de força utilizados, uma vez que cada teste avalia um tipo específico de força: força isocinética, força isométrica e força através do teste de preensão manual. Outra possível explicação para a ausência de correlação entre o 2D:4D e a força é que essa relação pode não ser explicada pela influência da força muscular locomotora. Vários estudos destacaram que a exposição pré-natal à testosterona pode influenciar o desenvolvimento cerebral (Lombardo & Otieno, 2021a), afetando comportamentos como motivação e agressão que, por sua vez, podem influenciar a capacidade de força (Hönekopp & Watson, 2011).

Na relação entre o 2D:4D e a flexibilidade, foi identificada uma correlação negativa significativa entre o 2D:4D da mão esquerda e o comprimento dos músculos isquiotibiais ($r=-0,536$), especificamente em atletas de basquetebol (Kurtoğlu & Çiftçi, 2023). O facto de apenas um estudo apontar para essa correlação negativa em atletas de basquetebol sugere a possibilidade de que uma maior exposição à testosterona pré-natal pode promover um maior desenvolvimento muscular, aumentando a massa muscular e a força. Esse aumento da massa muscular e da densidade de fibras musculares pode resultar em músculos mais rígidos. Além disso, a exposição à testosterona também pode aumentar a síntese de colagénio nos tendões (Boff, 2010), tornando-os mais fortes e potencialmente mais resistentes. Portanto, é plausível que, devido a esses fatores, não tenham sido encontradas correlações negativas entre a variável flexibilidade e o 2D:4D noutros estudos (Ilhan et al., 2020; Silva et al., 2022).

Na correlação entre o 2D:4D e a agressividade observou-se uma correlação negativa entre o 2D:4D e a agressividade apenas nos estudos que utilizaram os cartões

amarelos e vermelhos, assim como o questionário de agressão (Mailhos et al., 2016; Perciavalle et al., 2013; Reed et al., 2017). Os autores referem que os atletas que tinham mais cartões vermelhos eram mais agressivos e, por sua vez, apresentavam um 2D:4D menor, ou seja, que tinham tido uma maior exposição à testosterona pré-natal e por isso uma maior agressividade em contexto desportivo. Nos restantes estudos, foram observadas correlações positivas da agressividade com o 2D:4D. Estas diferenças de resultados podem ser atribuídas ao fato de os atletas não estarem em situação de competição, do qual se privam do contexto emocional intenso e altamente sensível, que caracteriza o ambiente competitivo; ou pela existência de diversos protocolos utilizados para medir o comportamento agressivo, nomeadamente questionários que avaliam o estado ou perturbações de humor, os quais podem ser altamente influenciados pelo sentimento do indivíduo naquele dia, ou pelas modalidades desportivas avaliadas. Os estudos que revelaram uma correlação negativa com o 2D:4D são predominantemente baseados em atletas praticantes de desportos coletivos, como futebol, e os que revelam correlações ou associações positivas com o 2D:4D a amostra é constituída por atletas de desportos individuais, como canoagem, natação, atletismo (especialmente os *sprinters*), judo, esgrima e artes marciais.

O desempenho desportivo e a relação com o 2D:4D têm sido extensivamente investigados em vários estudos nesta revisão (Acar & Eler, 2018; Azam et al., 2019; Bennett et al., 2010; Bescós et al., 2009; Ceylan et al., 2022; de laCruz-Sánchez et al., 2015; Dyer et al., 2018; Frick et al., 2017; L. P. Kilduff et al., 2011; Klapprodt et al., 2018; Lombardo et al., 2018; Mailhos et al., 2016; Manning & Taylor, 2001; Perciavalle et al., 2013; Reed et al., 2017; Schorer et al., 2013; Tamiya et al., 2012; Tomaszewska & Lubońska, 2022; Voracek et al., 2010; Wu et al., 2022; Yurdakul et al., 2018). No entanto, é crucial destacar que a avaliação do desempenho desportivo envolve uma diversidade de protocolos, incluindo estatísticas de jogo, questionários, entrevistas, testes de habilidades atléticas, seleção por parte dos treinadores e participação em competições. Esta diversidade contribui para uma complexidade na interpretação dos resultados, dificultando a comparação entre os estudos e a obtenção de conclusões consistentes. A utilização de questionários ou entrevistas para recolher informações instaura uma natureza subjetiva nos protocolos, o que pode representar uma fonte potencial de viés. Por exemplo, os atletas podem não responder de forma totalmente objetiva, podendo ser influenciados por fatores como autoimagem, desejo de conformidade ou simplesmente

falta de precisão na autoavaliação. E, no processo de seleção de jogadores, os treinadores podem ser influenciados por preferências pessoais, laços emocionais ou até mesmo questões extradesportivas. Portanto, é fundamental considerar cuidadosamente a validade e a confiabilidade dos protocolos de avaliação, bem como implementar medidas para mitigar o viés subjetivo, a fim de garantir resultados mais precisos e representativos. No entanto, verifica-se que a maioria dos estudos indica uma correlação negativa significativa entre o desempenho desportivo e o 2D:4D, sugerindo que atletas com um 2D:4D menor tendem a obter melhores resultados no desporto. Apenas cinco estudos é que não encontraram relações significativas entre essas duas variáveis (Azam et al., 2019; Ceylan et al., 2022; de laCruz-Sánchez et al., 2015; Lombardo et al., 2018; Yurdakul et al., 2018). Assim, há necessidade de investigações adicionais com protocolos baseados em medidas objetivas e quantificáveis, como testes físicos, testes padronizados e observações diretas, ou então, a replicação de estudos fidedignos com amostras de maior dimensão para uma maior consistência e coerência dos resultados.

Apesar de não ser o foco principal desta revisão sistemática da literatura verificamos a existência de estudos a investigar a relação do 2D:4D e a testosterona livre e total (Crewther et al., 2022; Jürimäe et al., 2008; L. P. Kilduff et al., 2011; Malik & Malik, 2011; Perciavalle et al., 2013). O método mais utilizado foi através de amostra de saliva, sendo que apenas um estudo optou pela análise sanguínea (L. P. Kilduff et al., 2011). Os resultados obtidos são diversos: correlação negativa entre o 2D:4D_(direito-esquerdo) da mão esquerda e a testosterona livre (L. P. Kilduff et al., 2011); correlação negativa entre a testosterona livre e total e o 2D:4D de ambas as mãos (Malik & Malik, 2011); correlação negativa apenas com o 2D:4D da mão direita (Crewther et al., 2022; Perciavalle et al., 2013), e a não existência de correlações (Jürimäe et al., 2008). A incoerência dos resultados poderá advir pelo facto da testosterona livre no organismo adulto ser influenciada pela produção hormonal das glândulas sexuais, bem como por fatores como a idade, a saúde geral e os níveis de atividade física. E o 2D:4D, como um possível biomarcador da testosterona pré-natal, é determinado exclusivamente pela produção hormonal fetal, e pode ser influenciado por fatores genéticos, ambientais e hormonais maternos (Manning, 2002). Sorokowski e Kowal (2013) numa meta-análise com 54 estudos não encontraram relações entre as proporções dos dedos e a testosterona no adulto e a testosterona pré-natal, alegando a possível existência de erros cometidos na realização de medição e que os efeitos são demasiado pequenos para serem detetados

devido a amostras relativamente pequenas (Forstmeier et al., 2010; Voracek & Loibl, 2009).

É crucial salientar as limitações deste estudo, relacionadas à heterogeneidade dos estudos analisados, o que dificulta a análise e interpretação dos resultados. Essa diversidade reflete-se nas amostras, que incluem atletas de diferentes níveis competitivos, desde recreativos a olímpicos (Disterhaupt et al., 2022; Frick et al., 2017), bem como não atletas, como estudantes ou jornalistas (Serpell & Cook, 2022). Além disso, os participantes variam em sexo (Jürimäe et al., 2008), idade (10 a 40 anos) (Ilhan et al., 2020; Manning et al., 2007) e modalidade desportiva, abrangendo 29 disciplinas distintas (Kurtoğlu & Çiftçi, 2023; Ramos Bermúdez et al., 2020). A metodologia utilizada para medir o rácio 2D:4D também é um fator relevante, podendo ser direta ou indireta, com 64% dos estudos a recorrerem à medição indireta do comprimento do dedo indicador em relação ao anelar, enquanto os restantes optaram pela medição direta. As medições diretas tendem a produzir valores mais elevados de 2D:4D em comparação com as indiretas (Ribeiro, Neave, Morais, & Manning, 2016), devido ao facto de avaliarem apenas a distância da base proximal do dedo até à ponta, abrangendo metade da falange proximal. Em contrapartida, as medições indiretas, realizadas através de radiografias ou digitalizações, incluem as três falanges completas (Manning & Fink, 2018a). Adicionalmente, as diversas metodologias utilizadas para avaliar a aptidão física e o desempenho desportivo também influenciam os resultados obtidos. Esses fatores apontam para a necessidade de protocolos de avaliação padronizados, conduzidos por profissionais em contextos desportivos, garantindo condições consistentes de análise e resultados mais confiáveis. A realização de estudos longitudinais é igualmente essencial para aumentar a robustez e a confiabilidade das conclusões, permitindo uma avaliação mais precisa do rácio 2D:4D como um preditor válido de aptidão física.

3.1.6. Conclusão

Esta revisão e meta-análise destacam o rácio 2D:4D como um biomarcador promissor da exposição à testosterona pré-natal, com implicações importantes para o desempenho desportivo. Os resultados confirmam que valores mais baixos de 2D:4D, observados em homens e atletas, estão associados a melhor capacidade aeróbica, VO₂máx, potência anaeróbia e força muscular, sugerindo que o 2D:4D pode ser um indicador chave para aptidões essenciais ao sucesso desportivo. As variações nas

associações com velocidade, flexibilidade e agressividade sublinham a necessidade de mais investigação, especialmente considerando as limitações metodológicas identificadas. Este estudo abre novas possibilidades na utilização do 2D:4D para a identificação de talentos e otimização do desempenho desportivo.

3.1.7. Referências bibliográficas

- Abbott, A., Button, C., Pepping, G.-J., & Collins, D. (2005). Unnatural selection: Talent identification and development in sport. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, 9(1), 61–88. PMID: 15629068
- Acar, H., & Eler, N. (2018). The Relationship of digit ratio (2D:4D) with cerebral lateralization and grip strength in elite swimmers. *Journal of Education and Training Studies*, 6(4), 84-89. <https://doi.org/10.11114/jets.v6i4.3040>
- Armstrong, N., Welsman, J. R., & Kirby, B. J. (1997). Performance on the Wingate anaerobic test and maturation. *Pediatric Exercise Science*, 9(3), 253-261. <https://doi.org/10.1123/pes.9.3.253>
- Attinà, A. N., Nicotra, R., Massimino, S., Maugeri, A., & Petralia, M. C. (2013). Emotion and performance in sport: Comparison between sportswomen. *Acta Medica Mediterranea*, 29(1), 135-138.
- Azam, Z., Zainuddin, Z. A., Ibrahim, H., Hashim, A. H. M., Baki, M. H., & Noor, M. S. H. M. (2019). Prenatal testosterone and sporting success among Malaysian rugby athletes. *Indian Journal of Public Health Research and Development*, 10(4), 1177-1181. <https://doi.org/10.5958/0976-5506.2019.00923.9>
- Barracough, A. S., Till, K., Kerr, A., & Emmonds, S. (2022). Methodological approaches to talent identification in team sports: A narrative review. *Sports*, 10(6), Article 81. <https://doi.org/10.3390/sports10060081>
- Bennett, M., Manning, J., Cook, C. J., & Kilduff, L. P. (2010). Digit ratio (2D:4D) and performance in elite rugby players. *Journal of Sports Sciences*, 28(13), 1415–1421. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.510143>
- Bescós, R., Esteve, M., Porta, J., Mateu, M., Irurtia, A., & Voracek, M. (2009). Prenatal programming of sporting success: Associations of digit ratio (2D:4D), a putative

- marker for prenatal androgen action, with world rankings in female fencers. *Journal of Sports Sciences*, 27(6), 625-632. <https://doi.org/10.1080/02640410802707029>
- Boff, S. R. (2010). Esteróides anabólicos e exercício: Ação e efeitos colaterais. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*, 18(1), 81-88. <https://doi.org/10.18511/0103-1716/rbcm.v18n1p81-88>
- Bohannon, R. W. (2003). Grip strength: A summary of studies comparing dominant and nondominant limb measurements. *Perceptual and Motor Skills*, 96(3 I), 728-730. <https://doi.org/10.2466/pms.2003.96.3.728>
- Bohme, M. (2000). O treinamento a longo prazo e o processo de detecção, seleção e promoção de talentos esportivos. *Revista Brasileira de Ciência do Esporte*, 21(2), 91-108.
- Bohme, M. (2004). *Desporto para crianças e jovens: Razões e finalidades* (1ª ed.). Editora UFRGS. <http://www.editora.ufrgs.br>
- Bohme, M. (2007). O tema talento esportivo na ciência do esporte. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*, 15(1), 119–126.
- Boscolo Del Vecchio, F., Del Vecchio, A. H. M., Gonçalves, A., Franchini, E., & Padovani, C. R. (2011). The canonical correlation between the biological markers of performance and physical fitness in high level judo athletes. *Physical Education and Sport*, 9(2).
- Camarco, N. F., Neto, I. V. de S., Ribeiro, E., & Andrade, A. J. M. (2022). Anthropometrics, performance, and psychological outcomes in mixed martial arts athletes. *Biology*, 11(8), Article 1147. <https://doi.org/10.3390/biology11081147>
- Ceylan, L., küçük, H., ceylan, T., & Eliöz, M. (2022). The 2nd:4th digit ratio and shooting skill performance in basketball players. *Akdeniz Spor Bilimleri Dergisi*, 5(3). <https://doi.org/10.38021/asbid.1151853>
- Coco, M., Platania, S., Castellano, S., Sagone, E., Ramaci, T., Petralia, M. C., Agati, M., Massimino, S., Di Corrado, D., Guarnera, M., Pirrone, C., Costa, C., De Pasquale, C., Perciavalle, V., Cavallari, P., Di Nuovo, S., Di Gregorio, G., Perciavalle, V., & Buscemi, A. (2018). Memory, personality and blood lactate during a judo competition. *Sport Sciences for Health*, 14(3). <https://doi.org/10.1007/s11332-018-0458-x>
- Cohen-Bendahan, C. C. C., Buitelaar, J. K., van Goozen, S. H. M., Orlebeke, J. F., & Cohen-Kettenis, P. T. (2005). Is there an effect of prenatal testosterone on aggression

- and other behavioral traits? A study comparing same-sex and opposite-sex twin girls. *Hormones and Behavior*, 47(2), 230–237.
<https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2004.10.006>
- Crewther, B. T., Pastuszak, A., Sadowska, D., Górski, M., & Cook, C. J. (2022). The digit ratio (2D:4D) and testosterone co-predict vertical jump performance in athletic boys: Evidence of organizational and activational effects of testosterone on physical fitness. *Physiology and Behavior*, 251, 113816.
<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2022.113816>
- de laCruz-Sánchez, E., García-Pallarés, J., Torres-Bonete, M. D., & López-Gullón, J. M. (2015). Can our fingers alone raise us up to the sky? Analysis of the digit ratio association with success in olympic wrestling. *Collegium Antropologicum*, 39(3).
- Deore, D. N. (2015). Comparative study of aerobic and anaerobic power in football players and control group. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences*, 14(5), 53–56. <https://doi.org/10.9790/0853-14565356>
- Di Corrado, D., Buscemi, A., Magnano, P., Maldonato, N. M., Tusak, M., & Coco, M. (2021). Mood states and performance in elite canoe polo players: The mediating role of stress. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(9), 4494. <https://doi.org/10.3390/ijerph18094494>
- Di Corrado, D., & Perciavalle, V. (2013). Digit ratio (2D:4D) and mood states in elite female water polo players. *Sport Sciences for Health*, 9(1), 7-10. <https://doi.org/10.1007/s11332-013-0140-2>
- Disterhaupt, J. W., Fitzgerald, J. S., Rhoades, J. L., & Tomkinson, G. R. (2022). The relationship between the digit ratio (2D:4D) and vertical jump performance in young athletes. *American Journal of Human Biology*, 34(3), e23679. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23679>
- Downs, S. H., & Black, N. (1998). The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and non-randomised studies of health care interventions. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 52(6), 377-384. <https://doi.org/10.1136/jech.52.6.377>
- Dyer, M., Short, S. E., Short, M., Manning, J., & Tomkinson, G. R. (2018). Relationships between the second to fourth digit ratio (2D:4D) and game-related statistics in semi-professional female basketball players. *American Journal of Human Biology*, 30(1), e23070. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23070>

- Eklund, E., Ekström, L., Thörngren, J. O., Ericsson, M., Berglund, B., & Hirschberg, A. L. (2020). Digit ratio (2D:4D) and physical performance in female olympic athletes. *Frontiers in Endocrinology*, 11, 292. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00292>
- Ellison, R. C., Zhang, Y., Myers, R. H., Swanson, J. L., Higgins, M., & Eckfeldt, J. (1999). Lewis blood group phenotype as an independent risk factor for coronary heart disease (The NHLBI Family Heart Study). *American Journal of Cardiology*, 83(3), 345–348. [https://doi.org/10.1016/S0002-9149\(98\)00866-2](https://doi.org/10.1016/S0002-9149(98)00866-2)
- Emerson, F. (2002). Teste anaerobio de wingate, conceitos e aplicação. *Revista Mackenzie de Educação Física e Esporte*, 1(1).
- Fink, B., Manning, J., & Neave, N. (2004). Second to fourth digit ratio and the “big five” personality factors. *Personality and Individual Differences*, 37(3), 495–503. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2003.09.018>
- Forstmeier, W., Mueller, J. C., & Kempenaers, B. (2010). A polymorphism in the oestrogen receptor gene explains covariance between digit ratio and mating behaviour. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1698), 3353–3361. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.1007>
- Fortin-Guichard, D., Huberts, I., Sanders, J., van Elk, R., Mann, D. L., & Savelsbergh, G. J. P. (2022). Predictors of selection into an elite level youth football academy: A longitudinal study. *Journal of Sports Sciences*, 40(9), 984–999. <https://doi.org/10.1080/02640414.2022.2044128>
- Foster, E. D., & Deardorff, A. (2017). Open Science Framework (OSF). *Journal of the Medical Library Association*, 105(2). <https://doi.org/10.5195/jmla.2017.88>
- Fox, A., Bonacci, J., McLean, S. G., Spittle, M., & Saunders, N. (2014). What is normal? Female lower limb kinematic profiles during athletic tasks used to examine anterior cruciate ligament injury risk: A systematic review. *Sports Medicine*, 44(6). <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0168-8>
- Fox J, Stanton, R., Sargent, C., Wintour, S. A., & Scanlan, A. T. (2018). The Association between training load and performance in team sports: A systematic review. *Sports Medicine*, 48(12). <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0982-5>
- Frick, N. A., Hull, M. J., Manning, J., & Tomkinson, G. R. (2017). Relationships between digit ratio (2D:4D) and basketball performance in Australian men. *American Journal of Human Biology*, 29(3). <https://doi.org/10.1002/ajhb.22937>

- Gebara, O. C. E., Vieira, N. W., Meyer, J. W., Luisa, A., Calich, G., Tai, E. J., Pierri, H., Wajngarten, M., Aldrighi, J. M., & Paulo, S. (2001). Efeitos cardiovasculares da testosterona. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 79(6), 644–649.
- Golby, J., & Meggs, J. (2011). Exploring the organizational effect of prenatal testosterone upon the sporting brain. *Journal of Sports Science and Medicine*, 10(3), 445–451.
- Güler, D. (2018). The relation between 2d:4d finger length ratio and sport performances of amateur basketball players. *European Journal of Physical Education and Sport Science*, 4(3). <https://doi.org/10.5281/zenodo.1221408>
- Hill, R., Simpson, B., Manning, J., & Kilduff, L. (2012). Right-left digit ratio (2D: 4D) and maximal oxygen uptake. *Journal of Sports Sciences*, 30(2), 129–134. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.637947>
- Holzapfel, S. D., Chomentowski, P. J., Summers, L. A. M., & Sabin, M. J. (2016). The relationship between digit ratio (2d:4d), Vo_{2max} , ventilatory threshold, and running performance. *International Journal of Sports Sciences & Fitness*, 6(1).
- Hönekopp, J., & Schuster, M. (2010). A meta-analysis on 2D:4D and athletic prowess: Substantial relationships but neither hand out-predicts the other. *Personality and Individual Differences*, 48(1), 4–10. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2009.08.009>
- Hönekopp, J., & Watson, S. (2011). Meta-analysis of the relationship between digit-ratio 2D:4D and aggression. *Personality and Individual Differences*, 51(4), 381–386. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2010.05.003>
- Hsu, C.-C., Su, B., Kan, N.-W., Lai, S.-L., Fong, T.-H., Chi, C.-P., Chang, C.-C., & Hsu, M.-C. (2015). Elite collegiate tennis athletes have lower 2D:4D ratios than those of nonathlete controls. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(3), 822–825. www.nscs.com
- Hull, M. J., Schranz, N. K., Manning, J., & Tomkinson, G. R. (2015). Relationships between digit ratio (2D:4D) and female competitive rowing performance. *American Journal of Human Biology*, 27(2), 157–163. <https://doi.org/10.1002/ajhb.22627>
- Ilhan, A., Çelik, E., & Egesoy, H. (2020). The relationship between some physical performance parameters and 2D:4D digit ratio in young athletes. *Ambient Science*, 7(Special Issue 1), 92–96. <https://doi.org/10.21276/ambi.2020.07.sp1.ta15>
- Jürimäe, T., Voracek, M., Jürimäe, J., Lätt, E., Haljaste, K., Saar, M., & Purge, P. (2008). Relationships between finger-length ratios, ghrelin, leptin, IGF axis, and sex steroids in young male and female swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 104(3), 523–529. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0801-z>

- Keshavarz, M., Bayati, M., Farzad, B., Dakhili, A., & Agha-Alinejad, H. (2017). The second to fourth digit ratio in elite and non-elite greco-roman wrestlers. *Journal of Human Kinetics*, 60(1), 145–151. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0097>
- Kilduff, L., Cook, C. J., Bennett, M., Crewther, B., Bracken, R. M., & Manning, J. (2013). Right-left digit ratio (2D:4D) predicts free testosterone levels associated with a physical challenge. *Journal of Sports Sciences*, 31(6), 677-683. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.747690>
- Kilduff, L. P., Cook, C. J., & Manning, J. (2011). Digit ratio (2D:4D) and performance in male surfers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(11), 3175–3180. www.nsca-jscr.org
- Klapprodt, K. L., Fitzgerald, J. S., Short, S. E., Manning, J., & Tomkinson, G. R. (2018). Relationships between the digit ratio (2D:4D) and game-related statistics in professional and semi-professional male basketball players. *American Journal of Human Biology*, 30(6), e23182. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23182>
- Koç, H., Aksoy, C., Eskici, G., & Köroğlu, Y. (2017). Analysis of the relationship between 2d:4d finger length ratios and leg strength among athletes. *Journal of Physical Education and Sport*, 17(S3), 1039-1043. <https://doi.org/10.7752/jpes.2017.s3150>
- Kohl, C., McIntosh, E. J., Unger, S., Haddaway, N. R., Kecke, S., Schiemann, J., & Wilhelm, R. (2018). Online tools supporting the conduct and reporting of systematic reviews and systematic maps: A case study on CADIMA and review of existing tools. *Environmental Evidence*, 7(1), Article 8. <https://doi.org/10.1186/s13750-018-0115-5>
- Koley, S., & Kumaar, S. (2012). The relation between handgrip strength and selected hand-anthropometric variables in Indian inter-university softball players. *Physical Education and Sport*, 10(1), 21–27.
- Kurtoğlu, A., & Çiftçi, R. (2023). Relationship between 2D:4D ratio, handgrip strength, and hamstring muscle length in different sports: A study of volleyball, football and basketball branches. *Physical Education of Students*, 27(1), 30-36. <https://doi.org/10.15561/20755279.2023.0103>
- Larkin, P., & Reeves, M. J. (2018). Junior-elite football: time to re-position talent identification? *Soccer and Society*, 19(8), 1183–1192. <https://doi.org/10.1080/14660970.2018.1432389>

- Lombardo, M. P., & Otieno, S. (2021). The associations between digit ratio, aerobic fitness, physical skills, and overall physical fitness of elite youth distance runners. *American Journal of Human Biology*, 33(1), e23448. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23448>
- Lombardo, M. P., Otieno, S., & Heiss, A. (2018). College-aged women in the United States that play overhand throwing sports have masculine digit ratios. *PLoS ONE*, 13(9), e0203685. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203685>
- Longman, D., Stock, J. T., & Wells, J. C. K. (2011). Digit ratio (2D:4D) and rowing ergometer performance in males and females. *American Journal of Physical Anthropology*, 144(3), 337–341. <https://doi.org/10.1002/ajpa.21407>
- Mailhos, A., Buunk, A. P., Del Arca, D., & Tutte, V. (2016). Soccer players awarded one or more red cards exhibit lower 2D:4D ratios. *Aggressive Behavior*, 42(5), 417–426. <https://doi.org/10.1002/ab.21638>
- Malik, A., & Malik, S. (2011). Digit Ratio (2D:4D): An indicator of serum testosterone and prenatal programming of specific sports. *International Journal of Sports Sciences & Fitness*, 1(1), 1-7.
- Manning, J. (2002). *Digit ratio: a pointer to fertility, behavior, and health*. Rutgers University Press.
- Manning, J. (2010). Digit ratio (2D:4D), sex differences, allometry, and finger length of 12-30-year olds: Evidence from the British Broadcasting Corporation (BBC) internet study. *American Journal of Human Biology*, 22(5), 604–608. <https://doi.org/10.1002/ajhb.21051>
- Manning, J., Bundred, P. E., & Fink, B. (2002). The ratio of 2nd to 4th digit length: a proxy for transactivation activity of the androgen receptor gene? *Medical Hypotheses*, 59, 334–336. [https://doi.org/10.1016/S0306-9877\(02\)00181-0](https://doi.org/10.1016/S0306-9877(02)00181-0)
- Manning, J., & Fink, B. (2018). Digit Ratio. *Encyclopedia of Evolutionary Psychological Science* (pp. 1–12). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16999-6_3829-1
- Manning, J., & Hill, M. R. (2009). Digit ratio (2D:4D) and sprinting speed in boys. *American Journal of Human Biology*, 21(2), 210–213. <https://doi.org/10.1002/ajhb.20855>
- Manning, J., Kilduff, L., Cook, C., Crewther, B., & Fink, B. (2014). Digit ratio (2D:4D): A biomarker for prenatal sex steroids and adult sex steroids in challenge situations. *Frontiers in Endocrinology*, 5, Article 9. <https://doi.org/10.3389/fendo.2014.00009>

- Manning, J., Morris, L., & Caswell, N. (2007). Endurance running and digit ratio (2D:4D): Implications for fetal testosterone effects on running speed and vascular health. *American Journal of Human Biology*, 19(3), 416–421.
<https://doi.org/10.1002/ajhb.20603>
- Manning, J., Scutt, D., Wilson, J., & Lewis-Jones, D. I. (1998). The ratio of 2nd to 4th digit length: a predictor of sperm numbers and concentrations of testosterone, luteinizing hormone and oestrogen. *Human Reproduction*, 13(11), 3000–3004.
<https://doi.org/10.1093/humrep/13.11.3000>
- Manning, J., & Taylor, R. P. (2001). Second to fourth digit ratio and male ability in sport: Implications for sexual selection in humans. *Evolution and Human Behavior*, 22(1).
[https://doi.org/10.1016/S1090-5138\(00\)00063-5](https://doi.org/10.1016/S1090-5138(00)00063-5)
- McIntyre, M. H., Ellison, P. T., Lieberman, D. E., Demerath, E., & Towne, B. (2005). The development of sex differences in digital formula from infancy in the Fels Longitudinal Study. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 272(1571), 1473–1479. <https://doi.org/10.1098/rspb.2005.3100>
- McNulty, P. H., Pfau, S., & Deckelbaum, L. I. (2000). Effect of plasma insulin level on myocardial blood flow and its mechanism of action. *The American Journal of Cardiology*, 85(2), 161–165. [https://doi.org/10.1016/S0002-9149\(99\)00650-5](https://doi.org/10.1016/S0002-9149(99)00650-5)
- Monka, M., & Pietraszewska, J. (2020). Digit ratio in groups of sporting and non-sporting women and men and its relations with somatic features and motor fitness. *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine*, 29(1), 37–48.
<https://doi.org/10.18276/cej.2020.1-04>
- Nobari, H., Alves, A. R., Clemente, F. M., & Pérez-Gómez, J. (2021). Influence of 2D:4D ratio on fitness parameters and accumulated training load in elite youth soccer players. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 13(1), Article 54.
<https://doi.org/10.1186/s13102-021-00354-5>
- Nobari, H., Eken, Ö., Prieto-González, P., Oliveira, R., & Brito, J. P. (2023). Association between 2D:4D ratios and sprinting, change of direction ability, aerobic fitness, and cumulative workloads in elite youth soccer players. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 15(1), Article 65. <https://doi.org/10.1186/s13102-023-00654-y>
- Pablo Méndez Rodríguez, J., Alfredo, O., Arjona, M., Monterrosa-Quintero, A., & Quintero, A. M. (2024). Relationship between the 2D:4D ratio, physical performance variables, and body composition in elite wrestling athletes. *Retos*, 946–952. <https://recyt.fecyt.es/index.php/retos/index>

- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Journal of Clinical Epidemiology*, 134, 178–189. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.03.001>
- Panda, K., Majumdar, P., Umesh, V., & Sudhakar, H. H. (2014). Ratio of second to fourth digit as a predictor of performance in elite Indian volley ball players. *National Journal of Physiology, Pharmacy and Pharmacology*, 4(2), 106–108. <https://doi.org/10.5455/njppp.2014.4.011020132>
- Pasanen, B. E., Tomkinson, J. M., Dufner, T. J., Park, C. W., Fitzgerald, J. S., & Tomkinson, G. R. (2022). The relationship between digit ratio (2D:4D) and muscular fitness: A systematic review and meta-analysis. *American Journal of Human Biology*, 34(3), Article e23657. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23657>
- Perciavalle, V., Di Corrado, D., Petralia, M. C., Gurrisi, L., Massimino, S., & Coco, M. (2013). The second-to-fourth digit ratio correlates with aggressive behavior in professional soccer players. *Molecular Medicine Reports*, 7(6), 1733–1738. <https://doi.org/10.3892/mmr.2013.1426>
- Perciavalle, V., Di Corrado, D., Scuto, C., Perciavalle, V., & Coco, M. (2014). Anthropometrics related to the performance of a sample of male swimmers. *Perceptual and Motor Skills*, 118(3), 940–950. <https://doi.org/10.2466/19.50.PMS.118k27w8>
- Ramos Bermúdez, S., García, A. M., Ayala, C. F., & Aguirre Loaiza, H. H. (2020). Índice de longitud digital 2D:4D en deportes de pelota. *Retos*, 39, 78257. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i39.78257>
- Ratel, S. (2010). High-intensity and resistance training and elite young athletes. *Medicine and Sport Science*, 56, 84-95. <https://doi.org/10.1159/000320635>
- Reed, S., Meggs, J., & Manning, J. (2017). Examining the effect of prenatal testosterone and aggression on sporting choice and sporting longevity. *Personality and Individual Differences*, 116, 11–15. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2017.04.022>
- Ribeiro, E., Neave, N., Morais, R. N., & Manning, J. (2016). Direct versus indirect measurement of digit ratio (2D:4D): A critical review of the literature and new data. *Evolutionary Psychology*, 14(1), 1-8. <https://doi.org/10.1177/1474704916632536>
- Sales, W. B., & Tomaz, R. R. (2019). Influência dos hormônios sexuais na regulação fisiológica da respiração: uma revisão de literatura. *Revista de Ciências da Saúde Nova Esperança*, 17(3), 37–43. <https://doi.org/10.17695/revcsnevol17n3p37-43>

- Schaible, T. F., Malhotra, A., Ciambone, G., & Scheuer, J. (1984). The effects of gonadectomy on left ventricular function and cardiac contractile proteins in male and female rats. <http://ahajournals.org>
- Schorer, J., Rienhoff, R., Westphal, H., & Baker, J. (2013). Digit ratio effects between expertise levels in American football players. *Talent Development and Excellence*, 5(2), 23-32.
- Serpell, B. G., & Cook, C. J. (2022). Exploring finger digit ratios (2D:4D) in surgeons, professional rugby players, and political journalists to form a directional hypothesis: Could finger length predict attention and focus? *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 16, Article 873129. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2022.873129>
- Silva, R. M., Clemente, F. M., González-Fernández, F., Nobari, H., Haghighi, H., & Cancela Carral, J. M. (2022). Does maturity estimation, 2D:4D and training load measures explain physical fitness changes of youth football players? *BMC Pediatrics*, 22(1), Article 383. <https://doi.org/10.1186/s12887-022-03801-5>
- Soysal, P., Hurst, C., Demurtas, J., Firth, J., Howden, R., Yang, L., Tully, M. A., Koyanagi, A., Ilie, P. C., López-Sánchez, G. F., Schwingshackl, L., Veronese, N., & Smith, L. (2021). Handgrip strength and health outcomes: Umbrella review of systematic reviews with meta-analyses of observational studies. *Journal of Sport and Health Science*, 10(3), 290-295. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.06.009>
- Sudhakar, H. H., Majumdar, P., Umesh, V., & Panda, K. (2014). Second to fourth digit ratio is a predictor of sporting ability in elite Indian male kabaddi players. *Asian Journal of Sports Medicine*, 5(3, e23073). <https://doi.org/10.5812/asjms.23073>
- Tamiya, R., Lee, S. Y., & Ohtake, F. (2012). Second to fourth digit ratio and the sporting success of sumo wrestlers. *Evolution and Human Behavior*, 33(2), 130–136. <https://doi.org/10.1016/j.evolhumbehav.2011.07.003>
- Tomaszewska, A., & Lubońska, J. A. (2022). 2D:4D digit ratio and its relationship to BMI, sporting choices and physiological predispositions among women. *Anthropological Review*, 85(2), 171-184. <https://doi.org/10.18778/1898-6773.85.2.07>
- Trivers, R., Hopp, R., & Manning, J. (2013). A longitudinal study of digit ratio (2D:4D) and its relationships with adult running speed in Jamaicans. *Human Biology*, 85(4), 623–625. <https://doi.org/10.3378/027.085.0409>

- Trivers, R., Manning, J., & Jacobson, A. (2006). A longitudinal study of digit ratio (2D:4D) and other finger ratios in Jamaican children. *Hormones and Behavior*, 49(2), 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2005.05.023>
- Voracek, M., & Loibl, L. M. (2009). Scientometric analysis and bibliography of digit ratio (2D:4D) research, 1998-2008. *Psychological Reports*, 104(3), 922–956. <https://doi.org/10.2466/PR0.104.3.922-956>
- Voracek, M., Manning, J., & Ponocny, I. (2005). Digit ratio (2D:4D) in homosexual and heterosexual men from Austria. *Archives of Sexual Behavior*, 34(3), 335–340. <https://doi.org/10.1007/s10508-005-3122-x>
- Voracek, M., Reimer, B., & Dressler, S. G. (2010). Digit ratio (2D:4D) predicts sporting success among female fencers independent from physical, experience, and personality factors. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 20(6), 853–860. <https://doi.org/10.1111/J.1600-0838.2009.01031.x>
- Wu, J., Liu, X., Wang, Y., Zhang, Y., & Fan, Y. (2022). Digit Ratio (2D:4D) and Performance of Chinese Elite Archers. *Journal of Men's Health*, 18(11), Article 1214. <https://doi.org/10.31083/j.jomh1811214>
- Yurdakul, H. Ö., Özen, G., & Koç, H. (2018). The relationship between digit ratio (2D:4D), anaerobic power and athletic ability of young athletes. *Universal Journal of Educational Research*, 6(12), 2850-2855. <https://doi.org/10.13189/ujer.2018.061226>
- Zheng, Z., & Cohn, M. J. (2011a). Developmental basis of sexually dimorphic digit ratios. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(39), 16289–16294. <https://doi.org/10.1073/pnas.1108312108>

3.2. Estudo 2 - Dígitos da mão e descritores de tamanho corporal no jovem atleta: o efeito da idade.

3.2.1. Resumo

Características genéticas, capacidade física, traços psicológicos e características antropométricas, são alguns dos fatores que influenciam o sucesso dos atletas e que os poderão estar na base da excelência desportiva. Foi o objetivo do presente estudo obter informação antropométrica, o comprimento dos dígitos e rácios (i.e.; 1D:2D, 1D:3D, 1D:4D, 1D:5D, 2D:3D, 2D:4D, 2D:5D, 3D:4D, 3D:5D e 4D:5D) em jovens atletas e observar como se comporta o rácio dos dedos perante o tamanho corporal, com e sem o efeito da interposição da idade cronológica. A amostra inclui 434 jovens atletas do sexo masculino, com idades compreendidas entre os 8,7 e os 17 anos, selecionados em clubes portugueses, praticantes de: andebol (n=21), basquetebol (n=121), futebol (n=70), hóquei em patins (n=71), natação (n=59) e ténis (n=92).

Foi medida a estatura, altura sentado e massa corporal. Adicionalmente, através da radiografia da mão esquerda, foi medido o comprimento dos dígitos e seguidamente calculado os rácios. Foi realizada a correlação bivariada entre as razões derivadas de dígitos da mão e descritores de tamanho corporal, sem remover o efeito da idade cronológica. Por fim, extraíram-se os coeficientes de correlação parcial controlando a idade cronológica. Foram identificadas associações estatisticamente significativas entre rácios e estatura para o 2D:3D ($p=0,021$; baixa) e 3D:5D ($p=0,049$; trivial). Foram ainda identificadas associações significativas entre rácios e massa corporal para o 1D:2D ($p=0,015$; baixa), 2D:3D ($p=0,004$; baixa) e 2D:4D ($p=0,014$; baixa). A idade cronológica não se apresentou como um fator diferenciador na associação das variáveis analisadas. Em conclusão, os rácios referentes aos dígitos da mão não parecem sofrer alterações com a estatura, massa corporal e idade. Esta estabilidade ontogénica permite fazer inferências sobre perfis individuais em jovens atletas.

Palavras-chave: Desporto infantojuvenil, atletas adolescentes, antropometria, rácio dos dedos, idade cronológica.

3.2.2. Introdução

No contexto desportivo muitos são os fatores que poderão influenciar o sucesso dos atletas. Por exemplo, as características genéticas dos indivíduos, as condições ambientais, a harmonização entre a quantidade e a qualidade do treino e da competição (Garganta, 2009), a capacidade aeróbia-anaeróbia (Zamparo et al., 2005), nível técnico

de cada jogador, nível geral de aptidão física, os traços psicológicos e as características antropométricas (Lätt et al., 2010) são apontadas como decisivas no caminho que conduz à excelência no desporto. Notavelmente, a associação entre características antropométricas e o desempenho desportivo constitui um marcador valioso na contribuição de identificação de jovens talentos (Garganta, 2009). Morais et al. (2017) sugeriu que as características antropométricas estão entre os fatores críticos usados como precursores para o reconhecimento precoce de atletas talentosos, pois acredita-se que a antropometria é mais controlada geneticamente em comparação com os atributos de aptidão física (Issurin, 2017). Nos últimos 20 anos a antropometria da mão teve um especial destaque, particularmente o rácio dos dígitos, que conjuntamente com outras características poderá ser utilizado na tentativa de identificar jovens atletas promissores (Lombardo & Otieno, 2021; Manning & Taylor, 2001; Nobari et al., 2021).

Diversos estudos concluem que os níveis de testosterona e estrogénio pré-natal influenciam a formação dos dedos, principalmente o 2º dedo (2D) e o 4º dedo (4D), além de defenderem que a proporção de dígitos (2D:4D) é um traço de dimorfismo sexual (Hönekopp & Schuster, 2010; Lutchmaya et al., 2004; Manning et al., 1998), onde os indivíduos do sexo masculino têm tendencialmente uma proporção de dígitos mais baixa (quarto dígito mais longo em relação ao segundo dígito) do que as mulheres (homens 2D:4D <mulheres 2D:4D) (Manning, 2002; Zheng & Cohn, 2011). No entanto, os padrões de crescimento dos dígitos e dos seus rácios, juntamente com as suas inter-relações durante a ontogenia dos jovens, são pouco conhecidos. Apenas existem alguns estudos que colocaram o enfoque na relação entre o desempenho atlético e a proporção de dígitos em jovens atletas (Disterhaupt et al., 2022; Lombardo & Otieno, 2021; Nobari et al., 2021; Tomkinson & Tomkinson, 2017). Sabe-se que é na adolescência que ocorrem múltiplas alterações fisiológicas decorrentes de uma cronobiologia individual com significativo impacto no desenvolvimento do talento desportivo (Malina, 2014). Neste sentido, o 2D:4D é considerado como um possível biomarcador putativo da exposição pré-natal à testosterona, que poderá servir de base de conhecimento científico para fins de identificação de jovens promissores de talento em vários desportos (Manning & Fink, 2018a; Manning & Taylor, 2001), juntando-se a diagnósticos gerais de desempenho físico, fisiológico, psicomotor e psicológico (Williams & Reilly, 2000).

Neste contexto, o objetivo do presente estudo passa por: (i) realizar uma descrição das características antropométricas de corpo todo, comprimento dos dígitos da mão esquerda e rácio dos dígitos (i.e., 1D:2D, 1D:3D, 1D:4D, 1D:5D, 2D:3D, 2D:4D, 2D:5D,

3D:4D, 3D:5D e 4D:5D); e (ii) observar como se comporta o rácio dos dígitos perante o tamanho corporal, com e sem o efeito da interposição da idade cronológica, em atletas adolescentes.

3.2.3. Métodos

Desenho e procedimentos

O estudo apresenta uma natureza transversal. O recrutamento dos jovens atletas foi feito em diversos clubes portugueses nas modalidades de basquetebol, futebol, hóquei em patins, andebol, natação e ténis. A permissão para entrar no estudo foi obtida através dos pais e instituições desportivas e pelos próprios participantes. Estes assinaram um consentimento informado e livre, garantindo o carácter voluntário da participação, bem como a confidencialidade dos dados. Numa primeira abordagem foram explicados e elucidados todos os procedimentos do estudo. Posteriormente foram efetuadas as medidas antropométricas e seguidamente as radiografias à mão esquerda.

Participantes

A amostra foi composta por 434 jovens atletas do sexo masculino, com idades compreendidas entre os 8,7 e os 17 anos, praticantes de andebol (n=21), basquetebol (n=121), futebol (n=70), hóquei em patins (n=71), natação (n=59) e ténis (n=92). Todos os participantes estavam envolvidos em treino formal e competição há pelo menos cinco anos. Tinham pelo menos três treinos por semana com duração média de 90 minutos e competiam uma vez a cada semana, durante um período mínimo de 10 meses, de setembro a junho.

Antropometria

Apenas um único avaliador efetuou as medidas antropométricas, seguindo os procedimentos padrão (Lohman et al., 1988). A estatura foi medida com precisão de 0,1 m usando um estadiómetro Harpenden (modelo 98.603, Holtain Ltd, Crosswell, Reino Unido). A altura sentada foi aferida utilizando um estadiómetro com banco integrado

(Sitting Height Table Harpende), com precisão de 0,1 m. A massa corporal foi medida usando uma balança SECA com precisão de 0,1 kg (modelo 770, Hanover, MD, EUA).

Radiografias e medição dos dedos

Foram efetuados a todos os participantes radiografias na mão esquerda. Estas foram realizadas por um médico radiologista com vasta experiência na área, utilizando um equipamento Siemens (modelo Multix B, potencia de 30Kw). A medição dos dígitos (1D, 2D, 3D, 4D, 5D) foram executadas por um cientista do desporto manuseando uma régua Rotring de precisão de 0,01mm. Este trabalhou de forma cega, sem quaisquer informações dos dados clínicos e desportivos dos participantes. A medição foi efetuada osso a osso (metacarpos, falanges proximais, mediais e distais), desde a extremidade proximal até à extremidade distal. Cada osso foi medido duas vezes e foi feita a média das medidas. As relações dos comprimentos dos dedos foram calculadas dividindo o comprimento de um dedo em relação ao outro, tal como 1D:2D, 1D:3D, 1D:4D, 1D:5D, 2D:3D, 2D:4D, 2D:5D, 3D:4D, 3D:5D e 4D:5D (Manning & Hill, 2009). Os participantes que revelaram na radiografia deformações ou fraturas ósseas foram excluídos do estudo (Joyce et al., 2013). Antes de iniciar a medição das radiografias foi realizado um processo de treino do observador que consistiu na mensuração prévia de 200 radiografias da mão esquerda, duas vezes.

Análise estatística

A estatística descritiva [mínimo, máximo, média, erro padrão da média, limites de confiança de 95% (LC 95%) da média e desvio padrão], foi realizada para a amostra total no que respeita a idade cronológica, estatura, altura sentado, massa corporal, dígitos e rácio de dígitos. A correlação de Pearson foi efetuada para verificar a associação entre proporções de dígitos com a estatura e massa corporal. Por fim, foi utilizada a análise de correlação parcial na associação das proporções dígitos e estatura e massa corporal controlada com a idade cronológica. A interpretação da magnitude dos coeficientes de correlações foi considerada trivial ($r < 0,1$), baixa ($0,1 < r < 0,3$) média ($0,3 < r < 0,5$), moderada ($0,5 < r < 0,7$), elevada ($0,7 < r < 0,9$) e quase perfeitas ($r > 0,9$) de acordo com o estabelecido pela literatura (Hopkins, 2002). Os procedimentos estatísticos foram

realizados com recurso do programa IBM SPSS versão 27.0 (SPSS Inc., IBM Company, EUA).

3.2.4. Resultados

A tabela 8 apresenta, sumariamente, a estatística descritiva da idade cronológica, e de medidas antropométricas para uma amostra total de 434 atletas adolescentes do sexo masculino dos 8,7 aos 17 anos de idade, para a totalidade da amostra.

Tabela 8. Estatística descritiva da antropometria para a amostra total de atletas adolescentes do sexo masculino de diversas modalidades desportivas (n = 434).

Variáveis	Unidades de medida	Amplitude		Média				Desvio Padrão
		Mínimo	Máximo	Média	EPM	95% CL		
						Limite inferior	Limite superior	
Idade Cronológica	anos	8,7	17,0	14,4	0,072	14,29	14,57	1,50
Estatura	cm	124,4	208,6	169,2	0,620	167,94	170,38	12,92
Altura Sentado	cm	66,3	103,2	87,1	0,362	86,37	87,79	7,22
Massa Corporal	kg	25,5	127,3	60,1	0,678	58,72	61,39	14,12

Nota: EPM (erro padrão da média); 95%CL (limite de confiança s 95%).

A Tabela 9 apresenta, resumidamente, dados relativos à estatística descritiva do comprimento dos cinco dígitos da mão esquerda, para a amostra total.

Tabela 9. Estatística descritiva dos dígitos para a amostra total de atletas adolescentes do sexo masculino de diversas modalidades (n = 434).

Variáveis	Unidades de medida	Amplitude		Média				Desvio Padrão
		Mínimo	Máximo	Média	EPM	95% CL		
						Limite inferior	Limite superior	
1º Dedo	cm	7,1	14,8	10,9	0,047	10,78	10,97	0,98
2º Dedo	cm	10,3	20,2	16,0	0,066	15,85	16,11	1,38
3º Dedo	cm	12,4	20,9	16,9	0,062	16,80	17,04	1,29
4º Dedo	cm	11,2	19,1	15,7	0,061	15,61	15,85	1,27
5º Dedo	cm	9,2	16,2	13,1	0,054	13,03	13,24	1,13

Nota: EPM (erro padrão da média); 95%CL (limite de confiança s 95%).

A tabela 10 apresenta a estatística descritiva para o rácio dos dígitos para a amostra total.

Tabela 10. Estatística descritiva do rácio dos dígitos para a amostra total entre atletas adolescentes do sexo masculino de diversas modalidades (n = 434).

Variáveis	Unidades de medida	Amplitude		Média				Desvio Padrão
		Mínimo	Máximo	Média	EPM	95% CL		
						Limite inferior	Limite superior	
Rácio 1D:2D	cm.cm ⁻¹	0,57	1,44	0,68	0,002	0,68	0,69	0,05
Rácio 1D:3D	cm.cm ⁻¹	0,53	0,93	0,64	0,001	0,64	0,65	0,03
Rácio 1D:4D	cm.cm ⁻¹	0,58	1,06	0,69	0,002	0,69	0,69	0,03
Rácio 1D:5D	cm.cm ⁻¹	0,71	1,19	0,83	0,002	0,82	0,83	0,04
Rácio 2D:3D	cm.cm ⁻¹	0,65	1,07	0,94	0,002	0,94	0,95	0,03
Rácio 2D:4D	cm.cm ⁻¹	0,74	1,12	1,02	0,002	1,01	1,02	0,04
Rácio 2D:5D	cm.cm ⁻¹	0,83	1,38	1,22	0,002	1,21	1,22	0,05
Rácio 3D:4D	cm.cm ⁻¹	0,95	1,20	1,08	0,001	1,07	1,08	0,03
Rácio 3D:5D	cm.cm ⁻¹	1,16	1,45	1,29	0,002	1,29	1,29	0,04
Rácio 4D:5D	cm.cm ⁻¹	1,08	1,38	1,20	0,002	1,20	1,20	0,04

Nota: EPM (erro padrão da média); 95%CL (limite de confiança s 95%).

A tabela 11 apresenta correlação bivariada entre as razões derivadas de dígitos da mão esquerda e descritores de estatura e massa corporal, sem remover o efeito da idade cronológica, e coeficientes de correlação parcial controlando a idade cronológica, em 434 atletas adolescentes do sexo masculino.

Tabela 11. Correlação bivariada entre as razões derivadas de dígitos da mão e descritores de tamanho corporal sem remover o efeito da idade cronológica e coeficientes de correlação parcial controlando a idade cronológica entre atletas adolescentes do sexo masculino de diversas modalidades desportivas (n=434).

Variáveis	Unidades de medida	Correlação Bivariada		Parcial (Controlada IC)	
		Estatura	Massa corporal	Estatura	Massa corporal
Rácio 1D:2D	cm.cm ⁻¹	-0,067	-0,117*	0,081	-0,002
Rácio 1D:3D	cm.cm ⁻¹	0,001	-0,048	0,101*	0,025
Rácio 1D:4D	cm.cm ⁻¹	-0,022	-0,059	0,075	0,015
Rácio 1D:5D	cm.cm ⁻¹	-0,063	-0,090	0,076	0,025
Rácio 2D:3D	cm.cm ⁻¹	0,111*	0,139**	-0,015	0,035
Rácio 2D:4D	cm.cm ⁻¹	0,076	0,117*	-0,048	0,020
Rácio 2D:5D	cm.cm ⁻¹	0,015	0,061	-0,040	0,028
Rácio 3D:4D	cm.cm ⁻¹	-0,048	-0,025	-0,050	-0,018
Rácio 3D:5D	cm.cm ⁻¹	-0,095*	-0,065	-0,036	0,000
Rácio 4D:5D	cm.cm ⁻¹	-0,071	-0,056	0,000	0,013

Nota: IC (idade cronológica); *(p<0.05); **(p<0.01); *** (p<0.001)

Todas as correlações bivariadas foram classificadas como triviais ou baixas, havendo apenas associações estatisticamente significativas entre rácios e estatura para o 2D:3D ($p=0,021$; baixa) e 3D:5D ($p=0,049$; trivial). Foram identificadas associações significativas entre rácios e massa corporal para o 1D:2D ($p=0,015$; baixa), 2D:3D ($p=0,004$; baixa) e 2D:4D ($p=0,014$; baixa). A idade cronológica não se apresentou como

um fator diferenciador, na generalidade das possíveis associações; apenas foram notadas associações estatisticamente significativa para o rácio 1D:3D ($p=0,035$; baixa).

3.2.5. Discussão

A forma da mão e dos dedos refletem características importantes de desenvolvimento do indivíduo durante o período fetal e pós-natal, e por essa razão são observadas ao longo da vida humana (Malas et al., 2006). Neste contexto, o objetivo deste estudo consistiu em fazer uma análise descritiva e pormenorizada do tamanho corporal, do comprimento dos dedos da mão esquerda e dos seus respetivos rácios, num conjunto de jovens atletas, provenientes de diferentes modalidades desportivas. Adicionalmente, foram analisadas as potenciais interações dos rácios com a estatura e a massa corporal, com e sem o efeito da interposição da idade cronológica. Este estudo também deu resposta ao propósito de obter valores de referência para estudos com outras amostras de jovens atletas em programas de desenvolvimento de alto nível.

Primeiramente, este estudo expõe a análise descritiva de uma amostra com 434 jovens atletas, no que concerne à idade cronológica, estatura, altura sentado e massa corporal. As características antropométricas da presente amostra apresentam algumas diferenças quando comparadas com estudos com jovens atletas; mas que são menos representativos no que respeita ao número e modalidades consideradas. Castanheira et al. (2017) estudou 164 jovens atletas, praticantes de basquetebol ($n=42$), hóquei em patins ($n=73$), judocas ($n=28$) e nadadores ($n=21$), dos 13,31 aos 16,66 anos. Os atletas do presente estudo são em média mais baixos ($169,2 \pm 12,92$ cm vs. $172,7 \pm 8,4$ cm) e mais leves ($60,1 \pm 14,12$ kg vs. $65,2 \pm 12,6$ kg), que os atletas estudados por Castanheira et al. (2017). Castanheira et al. (2017) concluiu, no seu estudo, que os jogadores de basquetebol são mais altos ($181,1 \pm 7,8$ cm) e mais pesados ($72,4 \pm 11,1$ kg) relativamente aos jogadores de outras modalidades. Por sua vez, os jogadores de hóquei em patins mostraram-se os mais baixos ($169,9 \pm 6,9$ cm) e os nadadores os mais leves ($60,7 \pm 6,0$ kg). Numa amostra de 81 atletas da modalidade de futebol (Valente-Dos-Santos et al., 2015), com idades compreendidas entre os 8 e os 18 anos ($14,61 \pm 2,83$ anos) verificou-se, em média, valores antropométricos médios (e.g., estatura $166,4 \pm 14,71$ cm; massa corporal de $59,5 \pm 14,2$ kg) mais baixos que o de o presente estudo – o que reflete a enorme variabilidade inter-

individual nos traços antropométricos em função da idade e modalidade praticada (naturalmente, sem causa-efeito, pelo menos para as variáveis de comprimento).

Quando observamos as informações detalhadas sobre o comprimento dos dedos, no presente estudo, em ordem crescente obtemos: 1º dedo (1D), 5º dedo (5D), 4º dedo (4D), 2º dedo (2D) e por último o 3º dedo (3D). A literatura existente já havia identificado que o 1D é o menor, pois apresenta apenas duas falanges (proximal e distal), enquanto os restantes dedos exibem três falanges (proximal, medial e distal) (Manning et al., 2003). O 3D é, por norma, o mais comprido, independentemente do sexo do indivíduo (McFadden & Shubel, 2002a). Relativamente ao 2D e 4D, a maioria dos estudos referem diferenças nos seus comprimentos, associadas ao sexo (Manning et al., 1998; McFadden & Shubel, 2002b; Peters et al., 2002). O 4D é mais longo que o 2D nos indivíduos do sexo masculino, quando comparado aos indivíduos do sexo feminino (Manning et al., 1998; Manning & Fink, 2018b). Foi ainda identificada a possibilidade de existência de uma relação entre o comprimento dos dedos das mãos, nomeadamente o 2D e 4D, e a quantidade de esteróides sexuais a que o embrião foi exposto (Manning et al., 2002) e que o aumento do comprimento do 4D no sexo masculino provém da exposição do embrião a elevados níveis de testosterona. Inversamente, se a exposição do embrião a elevados níveis de estrogénio for o caso, o 2D tenderá a crescer mais, ou de igual forma que o 4D, no sexo feminino (Brown et al., 2002; Fink et al., 2004; Manning et al., 2000; McFadden & Shubel, 2002a; Voracek et al., 2005).

Neste estudo não há comparação entre os sexos, mas verificamos que o 2D ($16,0 \pm 0,07$ cm) é ligeiramente maior que o 4D ($15,7 \pm 0,06$ cm). Podemos considerar que esta diferença se deve ao fato do estudo ser em jovens, onde as mudanças biológicas são uma constante. O 2D e 4D crescem substancialmente durante a ontogenia humana e as diferenças sexuais nos seus comprimentos mudam durante esse período de crescimento, não estando claro quando esse crescimento cessa e quando o dimorfismo sexual em comprimento se torna estático (Manning & Fink, 2018a). Manning e Fink (2018) verificaram que os jovens masculinos não exibem dedos significativamente mais longos do que as jovens femininas antes dos 13 anos de idade, mas depois disso o dimorfismo sexual no comprimento dos dedos (masculino > feminino) tornou-se progressivamente maior. Malas et al. (2006), mediu o comprimento das mãos e dos dedos em 161 fetos humanos abortados, com idade entre 10 e 40 semanas de gestação e não encontrou, nos

parâmetros biométricos fetais, diferenças significativas entre sexos relativamente ao 2D e 4D, embora tenha verificado que nos fetos do sexo feminino o 2D era maior.

Quando analisamos o comportamento dos rácios dos dedos, com a exceção do rácio 2D:4D, verificamos a existência de pouca literatura, sendo este estudo pioneiro no que concerne ao registo de todos os rácios em jovens atletas. Manning et al. (2003) avaliou 680 indivíduos adultos (340 homens e 340 mulheres), com medição dos rácios de ambas as mãos, à exceção do polegar, e identificaram os seguintes valores para a mão esquerda: $2D:3D = 0,90 \pm 0,04$ cm; $2D:4D = 0,98 \pm 0,05$ cm; $2D:5D = 1,21 \pm 0,08$ cm; $3D:4D = 1,09 \pm 0,05$ cm; $3D:5D = 1,34 \pm 0,08$ cm e $4D:5D = 1,23 \pm 0,07$ cm. É possível verificar que todos os rácios são semelhantes ao presente estudo, exceto o rácio 2D:4D, que se apresenta ligeiramente mais elevado ($1,02 \pm 0,002$ cm). A maioria dos estudos referem que os valores de 2D:4D são menores no sexo masculino em comparação ao feminino (masculino < feminino) (Manning, 2002), havendo uma tendência para os valores do rácio $2D:4D < 1$ nos homens, e $2D:4D > 1$ nas mulheres (Malas et al., 2006; Manning, 2002; Trivers et al., 2006). A diferença entre sexos em 2D:4D é independente das mudanças associadas à idade, sendo considerada esta estabilidade, durante os períodos de crescimento do 2D e 4D, um exemplo de homeostase da forma (Manning & Fink, 2018b). A diferença entre estudos poderá advir pelo protocolo de medição dos dedos (Ribeiro et al., 2016). Acredita-se que nos restantes rácios também há uma tendência para serem menores nos homens em comparação às mulheres, com um dimorfismo sexual particularmente marcado em 2D:3D, 2D:4D, 2D:5D para (Manning et al., 2003) e 2D:4D, 2D:5D e 3D:4D (McFadden & Shubel, 2002a).

Ao correlacionar os rácios dos dedos com a estatura e massa corporal e com o efeito da idade cronológica, observamos que 2D:3D e 3D:5D apresentam uma relação com a estatura ($0,111$; $-0,095$; $p < 0,05$) e que os rácios 1D:2D, 2D:3D e 2D:4D apresentam uma relação com a massa corporal ($-0,117$; $0,139$; $p < 0,05$), sendo todas elas correlações baixas. Quando retiramos o efeito da idade cronológica, as correlações mantêm-se inalteradas, com a exceção do rácio 1D:3D ($0,101$; $p < 0,05$). Verifica-se que os rácios não se modificam com a estatura, massa corporal ou idade cronológica. Os resultados obtidos mostraram-se dentro do expectável pois, apesar de não existir estudos que correlacionem os rácios com as variáveis indicadas, os estudos que avaliam o 2D:4D indicam que este está presente aos dois anos de idade, e que a diferença entre o 2D e o 4D se mantém

inalterada até à fase adulta, sem qualquer interferência da idade cronológica (Manning, 2002; Manning & Fink, 2018c). Este estudo remete para a possibilidade de que os restantes rácios também se mantêm inalterados, após a sua definição. O facto de alguns rácios serem estatisticamente significativos, mas com correlação baixa, advém do número elevado de elementos da amostra.

Este estudo apresenta limitações que precisam de ser consideradas. Existem vários protocolos para a medição dos dedos, o que dificulta a comparação entre dados. No entanto percebe-se que cada protocolo visa responder o seu objetivo de estudo. Seria interessante para estudos futuros implementar o rácio 2D:4D nas avaliações antropométrica dos jovens atletas, especificamente no desporto infantojuvenil, tal como se faz para a estatura, massa corporal, força, agilidade, etc. Possivelmente, só deste modo é que será possível compreender melhor este possível biomarcador da testosterona intrauterina, que poderá no futuro servir de apoio na avaliação de jovens, que conjuntamente com outros fatores biológicos, pode auxiliar a determinar os mais talentosos, minimizando o risco de errar na sua seleção. Seria do mesmo modo interessante avaliar os rácios dos dedos aos pais, a fim de perceber se este é um fator hereditário ou apenas genético.

3.2.6. Conclusão

O presente estudo, com base numa amostra resultante de diferentes modalidades do segmento jovem masculino, inclui informações detalhadas sobre a antropometria da mão esquerda, reforçando o corpo da literatura dedicada ao tema. Conclui-se que os rácios considerados não são afetados pela estatura, massa corporal e idade cronológica. Esta estabilidade reforça estes indicadores, como marcadores de potencial interesse na monitorização do desenvolvimento de atletas com potencial para a prática desportiva.

3.2.7. Referências bibliográficas

Brown, W. M., Hines, M., Fane, B. A., & Breedlove, S. M. (2002). Masculinized finger length patterns in human males and females with congenital adrenal hyperplasia. *Hormones and Behavior*, 42(4), 380–386. <https://doi.org/10.1006/hbeh.2002.1830>

- Castanheira, J., Valente-Dos-Santos, J., Costa, D., Martinho, D., Fernandes, J., Duarte, J., Sousa, N., Vaz, V., Rama, L., Figueiredo, A., & Coelho-E-Silva, M. (2017). Cardiac remodeling indicators in adolescent athletes. *Revista da Associação Médica Brasileira*, 63(5), 427–434. <https://doi.org/10.1590/1806-9282.63.05.427>
- Disterhaupt, J. W., Fitzgerald, J. S., Rhoades, J. L., & Tomkinson, G. R. (2022). The relationship between the digit ratio (2D:4D) and vertical jump performance in young athletes. *American Journal of Human Biology*, 34(3) e23679. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23679>
- Fink, B., Manning, J., & Neave, N. (2004). Second to fourth digit ratio and the “big five” personality factors. *Personality and Individual Differences*, 37(3), 495–503. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2003.09.018>
- Garganta, J. (2009). *Identificação, seleção e promoção de talentos nos jogos desportivos: factos, mitos e equívocos*. <http://pt.wikipedia.org/wiki/Talento>
- Hönekopp, J., & Schuster, M. (2010). A meta-analysis on 2D:4D and athletic prowess: Substantial relationships but neither hand out-predicts the other. *Personality and Individual Differences*, 48(1), 4–10. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2009.08.009>
- Issurin, V. B. (2017). Evidence-based prerequisites and precursors of athletic talent: A review. *Sports Medicine*, 47(10), 1993–2010. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0740-0>
- Joyce, C. W., Kelly, J. C., Chan, J. C., Colgan, G., O’Briain, D., McCabe, J. P., & Curtin, W. (2013). Second to fourth digit ratio confirms aggressive tendencies in patients with boxers’ fractures. *Injury*, 44(11), 1636–1639. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2013.07.018>
- Lätt, E., Jürimäe, J., Mäestu, J., Purge, P., Rämson, R., Haljaste, K., Keskinen, K. L., Rodriguez, F. A., & Jürimäe, T. (2010). Physiological, biomechanical and anthropometrical predictors of sprint swimming performance in adolescent swimmers. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9, 398–404. <http://www.jssm.org>
- Lohman, T., Roche, A., & Martorell, R. (1988). *Anthropometric Standardization Reference Manual*. Human Kinetics. <https://doi.org/10.1080/00140138808966796>
- Lombardo, M. P., & Otieno, S. (2021). The associations between digit ratio, aerobic fitness, physical skills, and overall physical fitness of elite youth distance runners. *American Journal of Human Biology*, 33(1), e23448. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23448>

- Lutchmaya, S., Baron-Cohen, S., Raggatt, P., Knickmeyer, R., & Manning, J. (2004). 2nd to 4th digit ratios, fetal testosterone and estradiol. *Early Human Development*, 77(1–2), 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2003.12.002>
- Malas, M. A., Dogan, S., Hilal Evcil, E., & Desdicioglu, K. (2006). Fetal development of the hand, digits and digit ratio (2D:4D). *Early Human Development*, 82(7), 469–475. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2005.12.002>
- Malina, R. M. (2014). Top 10 research questions related to growth and maturation of relevance to physical activity, performance, and fitness. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 85(2), 157–173. <https://doi.org/10.1080/02701367.2014.897592>
- Manning, J. (2002). *Digit ratio: a pointer to fertility, behavior, and health*. Rutgers University Press.
- Manning, J., Bundred, P. E., & Fink, B. (2002). The ratio of 2nd to 4th digit length: a proxy for transactivation activity of the androgen receptor gene? *Medical Hypotheses*, 59, 334–336. [https://doi.org/10.1016/S0306-9877\(02\)00181-0](https://doi.org/10.1016/S0306-9877(02)00181-0)
- Manning, J., Callow, M., & Bundred, P. E. (2003). Finger and toe ratios in humans and mice: Implications for the aetiology of diseases influenced by HOX genes. *Medical Hypotheses*, 60(3), 340–343. [https://doi.org/10.1016/S0306-9877\(02\)00400-0](https://doi.org/10.1016/S0306-9877(02)00400-0)
- Manning, J., & Fink, B. (2018). Digit Ratio. *Encyclopedia of Evolutionary Psychological Science* (pp. 1–12). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16999-6_3829-1
- Manning, J., & Fink, B. (2018). Sexual dimorphism in the ontogeny of second (2D) and fourth (4D) digit lengths, and digit ratio (2D:4D). *American Journal of Human Biology*, 30(4), e23138. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23138>
- Manning, J., & Hill, M. R. (2009). Digit ratio (2D:4D) and sprinting speed in boys. *American Journal of Human Biology*, 21(2), 210–213. <https://doi.org/10.1002/ajhb.20855>
- Manning, J., Scutt, D., Wilson, J., & Lewis-Jones, D. I. (1998). The ratio of 2nd to 4th digit length: A predictor of sperm numbers and concentrations of testosterone, luteinizing hormone and oestrogen. *Human Reproduction*, 13(11), 3000–3004. <https://doi.org/10.1093/humrep/13.11.3000>
- Manning, J., & Taylor, R. P. (2001). Second to fourth digit ratio and male ability in sport: Implications for sexual selection in humans. *Evolution and Human Behavior*, 22(1). [https://doi.org/10.1016/S1090-5138\(00\)00063-5](https://doi.org/10.1016/S1090-5138(00)00063-5)

- Manning, J., Trivers, R. L., Thornhill, R., & Singh, D. (2000). The 2nd:4th digit ratio and asymmetry of hand performance in Jamaican children. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 5(2), 121–132. <https://doi.org/10.1080/713754381>
- McFadden, D., & Shubel, E. (2002a). Relative lengths of fingers and toes in human males and females. *Hormones and Behavior*, 42(4), 492–500. <https://doi.org/10.1006/hbeh.2002.1833>
- Nobari, H., Alves, A. R., Clemente, F. M., & Pérez-Gómez, J. (2021). Influence of 2D:4D ratio on fitness parameters and accumulated training load in elite youth soccer players. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 13(1), Article 54. <https://doi.org/10.1186/s13102-021-00354-5>
- Peters, M., Mackenzie, K., & Bryden, P. (2002). Finger length and distal finger extent patterns in humans. *American Journal of Physical Anthropology*, 117(3), 209–217. <https://doi.org/10.1002/ajpa.10029>
- Ribeiro, E., Neave, N., Morais, R. N., & Manning, J. (2016). Direct versus indirect measurement of digit ratio (2D:4D): A critical review of the literature and new data. *Evolutionary Psychology*, 14(1), 1-8. <https://doi.org/10.1177/1474704916632536>
- Tomkinson, J. M., & Tomkinson, G. R. (2017). Digit ratio (2D:4D) and muscular strength in adolescent boys. *Early Human Development*, 113, 7–9. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2017.07.013>
- Trivers, R., Manning, J., & Jacobson, A. (2006). A longitudinal study of digit ratio (2D:4D) and other finger ratios in Jamaican children. *Hormones and Behavior*, 49(2), 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2005.05.023>
- Valente-Dos-Santos, J., Coelho-E-Silva, M. J., Tavares, Ó. M., Brito, J., Seabra, A., Rebelo, A., Sherar, L. B., Elferink-Gemser, M. T., & Malina, R. M. (2015). Allometric modelling of peak oxygen uptake in male soccer players of 8-18 years of age. *Annals of Human Biology*, 42(2), 126–134. <https://doi.org/10.3109/03014460.2014.932007>
- Voracek, M., Manning, J., & Ponocny, I. (2005). Digit ratio (2D:4D) in homosexual and heterosexual men from Austria. *Archives of Sexual Behavior*, 34(3), 335–340. <https://doi.org/10.1007/s10508-005-3122-x>
- Williams, A. M., & Reilly, T. (2000). Talent identification and development in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 18(9), 657–667. <https://doi.org/10.1080/02640410050120041>

- Zamparo, P., Pendergast, D. R., Mollendorf, J., Termin, A., & Minetti, A. E. (2005). An energy balance of front crawl. *European Journal of Applied Physiology*, 94(1–2), 134–144. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1281-4>
- Zheng, Z., & Cohn, M. J. (2011). Developmental basis of sexually dimorphic digit ratios. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(39), 16289–16294. <https://doi.org/10.1073/pnas.1108312108>

3.3. Estudo 3 - Relação entre a proporção de dígitos no futebol juvenil: comparações entre jogadores de elite e não-elite

Participação com apresentação de poster no primeiro Congresso Europeu de Futebol organizado pela Faculdade de Educação Física e Desporto da Universidade Lusófona. Lisboa, Abril 2023.

3.3.1. Resumo

O rácio 2D:4D é considerado um biomarcador putativo das hormonas sexuais pré-natais, nomeadamente a testosterona e o estrogénio, que por consequência têm efeito no cérebro, no sistema cardiovascular e musculo esquelético. O objetivo deste estudo foi verificar o comprimento dos dedos e rácios (nomeadamente, 2D:4D) na mão esquerda, bem como a variação destes indicadores associados ao nível competitivo. A amostra incluiu 70 jovens atletas do sexo masculino, com idades entre os 14,59 e 15,64 anos, selecionados em clubes portugueses na modalidade de futebol. Foram medidos parâmetros antropométricos como estatura, altura sentado e massa corporal. Através das radiografias à mão esquerda, foi medido o comprimento dos dedos e, posteriormente, foram calculados os rácios (i.e.; 1D:2D, 1D:3D, 1D:4D, 1D:5D, 2D:3D, 2D:4D, 2D:5D, 3D:4D, 3D:5D e 4D:5D). A diferença entre os níveis competitivos (local, $n=35$; elite regional, $n=35$) foi examinada com teste t -independente. As diferenças das médias das variáveis consideráveis por nível competitivo foram apreciadas com base no cálculo da magnitude do efeito (d de Cohen). Foram identificadas diferenças estatisticamente significativas para todas as variáveis antropométricas ($p<0,001$; $d=0,87$ a $1,81$), apresentando o grupo elite regional valores superiores. O 3º dedo é mais comprido nos atletas de elite regional ($t=-3,68$; $p<0,001$; $d=0,87$) e observou-se rácios menores no mesmo grupo, com exceção do rácio 2D:5D e 3D:4D. Observamos que os comprimentos dos dedos nos atletas de elite regional são mais compridos, e que os rácios são menores, principalmente o rácio 2D:4D que é considerado um indicador significativo da testosterona pré-natal.

Palavras-Chave: futebol, adolescentes, antropometria, rácios, testosterona pré-natal

3.3.2. Introdução

O dimorfismo físico em humanos, inclui diferentes comportamentos e características multifatoriais, principalmente no desporto. Estas diferenças também são resultado dos efeitos da testosterona e estrogénio pré-natal, nomeadamente no cérebro, no sistema cardiovascular e no sistema músculo esquelético (Zheng & Cohn, 2011). No entanto, face à dificuldade em avaliar as hormonas intrauterinas, houve necessidade de criar biomarcadores. Para avaliar a testosterona e estrogénio fetais identificamos o rácio

2D:4D, ou seja, a proporção do 2º dedo (2D) e do 4º dedo (4D), (Manning et al., 1998; Manning e Fink, 2018b). Observa-se que os indivíduos do sexo masculino têm, tendencialmente, uma proporção de dígitos mais baixa (quartos dígitos mais longos em relação aos segundos dígitos) do que as mulheres (homens 2D:4D < mulheres 2D:4D) (Manning, 2002). Desse modo, alguns autores sugeriram que a baixa proporção 2D:4D correlaciona-se com altos níveis de testosterona e baixos níveis de estrogénio no feto, e a alta proporção 2D:4D correlaciona-se com baixos níveis de testosterona fetal e altos níveis de estrogénio fetal (Manning et al., 2007; Manning e Fink, 2018a). Esta diferenciação apresenta consequências a longo prazo no desporto, na atividade física e no comportamento competitivo (Acar & Tutkun, 2018; Hsu et al., 2015; Keshavarz et al., 2017). Esta relação foi demonstrada pela primeira vez em jogadores ingleses no futebol profissional (Manning & Taylor, 2001). Manning e Taylor (2001) analisaram jogadores de futebol profissional (n=304) e indivíduos não atletas (n=533), tendo verificado que os jogadores profissionais de futebol apresentaram valores mais baixos de 2D:4D do que os elementos da amostra que serviram de controlo. Mais especificamente, observaram uma tendência de associação entre os menores valores de 2D:4D e melhores desempenhos desportivos dos atletas (Manning & Taylor, 2001). Subsequentemente, foram efetuados estudos em diferentes modalidades tendo permitido verificar que um 2D:4D menor demonstra associações significativas com níveis mais elevados de testosterona pré-natal e desempenho em vários desportos, onde fatores como visão-espacial (Manning & Taylor, 2001) agressividade (Kociuba et al., 2019; Mailhos et al., 2016), velocidade (Manning & Hill, 2009), resistência e força (Folland et al., 2012; Ribeiro, Neave, Morais, & Manning, 2016), são tidos como essenciais.

Todavia, até ao momento, encontramos apenas três estudos que relacionam 2D:4D e jovens atletas profissionais que praticam a modalidade de futebol. Perciavalle (2013), no seu estudo com 18 jogadores profissionais da 1ª liga Italiana, verificou uma associação negativa entre as razões 2D:4D e os níveis de testosterona salivar, na agressividade extra persistente e no número de faltas por jogo (Perciavalle et al., 2013). Mailho (2015) em 94 jogadores juniores profissionais de futebol; observou que os atletas com baixo 2D:4D são mais propensos a desenvolver um comportamento agressivo em campo (Mailhos et al., 2016). Recentemente, Nobari (2021) ao analisar 24 jogadores de futebol de elite, menores de 17 anos, constatou que 2D:4D esquerdo e direito foram amplamente e negativamente

associados a melhorias na força muscular e no consumo máximo de oxigénio (VO_{2max}), ao longo da época (Nobari et al., 2021).

Os estudos considerados anteriormente apenas avaliam jovens atletas profissionais de futebol. Esta condição implica que estes jogadores já tinham sido altamente selecionados, apresentando características necessárias ou importantes para o jogo em si. A carência de informação dedicada, nomeadamente ao rácio 2D:4D em jovens atletas de futebol, considerando diferentes tipos competitivos (elite/local), leva-nos à necessidade do presente estudo. Neste contexto, o objetivo deste estudo passa por analisar o comprimento dos dedos e dos rácios, na mão esquerda, em jovens atletas do sexo masculino, considerando adicionalmente a variação associada a nível competitivo. Estabelecemos a hipótese de que os atletas de elite regional apresentem o comprimento de dedos maiores, rácios menores, nomeadamente o rácio 2D:4D, comparativamente aos atletas que integram os grupos de nível local.

3.3.3. Métodos

Desenho e Procedimentos

O estudo apresenta uma natureza transversal. O recrutamento dos jovens atletas foi feito em clubes portugueses na modalidade de futebol. A permissão para entrar no estudo foi obtida através dos pais e instituições desportivas e, quando apropriado, pelos próprios participantes (≥ 16 anos). Estes assinaram um consentimento informado e livre, garantindo o caráter voluntário da participação, bem como a confidencialidade dos dados. Foram informados que poderiam desistir do estudo a qualquer momento. Na primeira abordagem, foi explicado aos atletas todos os procedimentos do estudo. Posteriormente foram realizadas as radiografias à mão esquerda e registados os valores antropométricos dos atletas.

Participantes

A amostra foi constituída por 70 jogadores de futebol do sexo masculino, caucasianos, com idade $15,10 \pm 0,63$ anos, de nacionalidade portuguesa. Todos os jogadores participaram em treinos regulares de quatro a seis sessões por semana (360 a

510 minutos por semana) e jogavam uma vez semanalmente, durante um período de 10 meses (de setembro a junho). Todos os participantes treinavam e competiam (competições locais, regionais e nacionais) há pelo menos cinco anos.

Antropometria

Foi efetuada a seguinte antropometria: estatura, altura sentada e massa corporal, seguindo os procedimentos padrão, e apenas por um único avaliador (Lohman TG, et al., 1988). A estatura foi medida com precisão de 0,1 m usando um estadiómetro Harpenden (modelo 98.603, Holtain Ltd, Crosswell, Reino Unido). A massa corporal foi medida usando uma balança SECA com precisão de 0,1 kg (modelo 770, Hanover, MD, EUA).

Radiografias e medição dos dedos

As radiografias da mão esquerda foram realizadas por um médico radiologista com vasta experiência na área, utilizando um equipamento analógico Siemens (modelo Multix B, potência de 30Kw). A medição dos dedos (1D, 2D, 3D, 4D, 5D) foram executadas por um cientista do desporto, utilizando uma régua Rotring de precisão de 0,01mm. Trabalhou de forma cega, sem quaisquer informações dos dados clínicos e desportivos dos participantes. A medição foi efetuada osso a osso (metacarpos, falanges proximais, mediais e distais), desde a sua extremidade mais proximal até à extremidade mais distal. Cada osso foi medido duas vezes e foi feita a média das medidas. As relações dos comprimentos dos dedos foram calculadas dividindo o comprimento de um dedo em relação ao outro, tal como 1D:2D, 1D:3D, 1D:4D, 1D:5D, 2D:3D, 2D:4D, 2D:5D, 3D:4D, 3D:5D e 4D:5D (Manning & Hill, 2009). Os participantes que revelaram na radiografia deformações ou fraturas ósseas foram excluídos do estudo (Joyce et al., 2013). Antes de iniciar a medição para este estudo, foi realizado um estudo de confiabilidade. Este consistiu na mensuração prévia de 200 radiografias da mão esquerda, duas vezes, na forma de teste e r-teste.

Análise estatística

A estatística descritiva (média e desvio padrão) foi realizada em idade cronológica, estatura, massa corporal, dígitos e proporções de dígitos. A diferença associada ao nível competitivo foi examinada com teste *t*-independente. Adicionalmente,

as diferenças das médias das medidas repetidas foram apreciadas com base no cálculo da magnitude do efeito (d de Cohen) que foram interpretados qualitativamente do seguinte modo: $<0,2$ (trivial); $0,2-0,6$ (pequena); $0,6-1,2$ (moderada); $1,2-2,0$ (larga); $2,0-4,0$ (muito larga) $>4,0$ (extremamente larga) (Hopkins et al., 2009). A análise estatística foi realizada com o software IBM SPSS versão 27.0 (SPSS Inc., IBM Company, EUA).

3.3.4. Resultados

A Tabela 12 apresenta, sumariamente, a série de dados relativamente aos jogadores de futebol adolescentes do sexo masculino.

Tabela 12. Média e desvio padrão da idade cronológica e antropometria por nível competitivo entre jogadores de futebol adolescentes do sexo masculino ($n=70$).

Variáveis	Unidades de medida	Local ($n=35$)		Elite Regional ($n=35$)		t	p	Magnitude de efeito	
		Média	DP	Média	DP			d	(Qualitativo)
Idade Cronológica	anos	14,59	0,41	15,64	0,70	-7,67	<0,001	1,81	(Larga)
Estatura	cm	166,52	8,17	172,45	4,84	-3,70	<0,001	0,87	(Moderada)
Massa corporal	kg	56,81	9,50	65,45	6,42	-4,46	<0,001	1,05	(Moderada)

Nota: DP (desvio padrão); t (t -valor); p (p -valor); d (cohen d -valor); † (dados indisponíveis)

Verificam-se diferenças estatisticamente significativas para todas as variáveis antropométricas ($p<0,001$; $d=0,87$ a $1,81$), sendo que o grupo de elite regional apresenta valores superiores comparativamente ao grupo de atletas ao nível local.

A Tabela 13 apresenta o comprimento dos dedos da mão esquerda por nível competitivo (local e elite regional) e as comparações entre grupos.

Tabela 13. Média e desvio padrão do comprimento dos dedos da mão esquerda por nível competitivo e comparações entre grupos em jogadores de futebol adolescentes do sexo masculino (n=70).

Variáveis	Unidades de medida	Local (n=35)		Elite Regional (n=35)		<i>t</i>	<i>p</i>	Magnitude de efeito	
		Média	DP	Média	SD			<i>d</i>	(Qualitativo)
1º Dedo	cm	10,87	0,61	10,58	0,59	2,01	0,048	0,47	(Pequena)
2º Dedo	cm	15,95	0,86	16,19	0,63	-1,28	0,204	0,30	(Pequena)
3º Dedo	cm	16,65	0,82	17,25	0,48	-3,68	<0,001	0,87	(Moderada)
4º Dedo	cm	15,46	0,81	15,96	0,61	-2,94	0,005	0,69	(Moderada)
5º Dedo	cm	13,00	0,77	13,15	0,59	-0,92	0,360	0,22	(Pequena)

Nota: DP (desvio padrão); *t* (*t*-valor); *p* (*p*-valor); *d* (cohen *d*-valor)

A média do 2º ao 5º dedo nos atletas que jogam em equipas de nível local são menores que os atletas integrados em equipas de elite regional. Mas, apenas se verificaram diferenças entre grupos no 3º dedo [3º dedo: $t = -3,68$; $p < 0,001$; $d = 0,87$] e no 4º dedo [4º dedo: $t = -2,94$; $p = 0,005$; $d = 0,69$], onde o grupo de elite regional apresenta o maior comprimento.

A Tabela 14 apresenta os rácios dos dedos da mão esquerda (relação dos cinco dedos), por nível competitivo e comparação entre grupos.

Tabela 14. Média e desvio padrão do rácio derivado dos dígitos da mão esquerda por nível competitivo e comparação entre grupos em jogadores adolescentes de futebol, do sexo masculino (n=70).

Variáveis	Unidades de medida	Local (n=35)		Elite Regional (n=35)		<i>t</i>	<i>p</i>	Magnitude de efeito	
		Média	DP	Média	DP			<i>d</i>	(Qualitativo)
Rácio 1D:2D	cm.cm ⁻¹	0,68	0,02	0,65	0,02	5,26	<0,001	1,24	(Larga)
Rácio 1D:3D	cm.cm ⁻¹	0,65	0,02	0,61	0,03	6,49	<0,001	1,53	(Larga)
Rácio 1D:4D	cm.cm ⁻¹	0,70	0,02	0,66	0,03	6,30	<0,001	1,48	(Larga)
Rácio 1D:5D	cm.cm ⁻¹	0,84	0,03	0,80	0,03	4,52	<0,001	1,07	(Moderada)
Rácio 2D:3D	cm.cm ⁻¹	0,96	0,02	0,94	0,03	3,61	0,001	0,85	(Moderada)
Rácio 2D:4D	cm.cm ⁻¹	1,03	0,02	1,01	0,03	2,79	0,007	0,66	(Moderada)
Rácio 2D:5D	cm.cm ⁻¹	1,23	0,03	1,23	0,04	-0,41	0,680	0,10	(Trivial)
Rácio 3D:4D	cm.cm ⁻¹	1,08	0,02	1,08	0,03	-0,62	0,540	0,15	(Trivial)
Rácio 3D:5D	cm.cm ⁻¹	1,28	0,04	1,31	0,05	-2,87	0,006	0,68	(Moderada)
Rácio 4D:5D	cm.cm ⁻¹	1,19	0,03	1,21	0,04	-3,15	0,002	0,74	(Moderada)

Nota: DP (desvio padrão); *t* (*t*-valor); *p* (*p*-valor); *d* (cohen *d*-valor)

Observou-se que o grupo elite regional apresenta valores inferiores na maioria dos rácios, exceto no rácio 2D:5D e 3D:4D, onde ambos os grupos apresentam valores idênticos. Destacamos que a média do rácio 2D:4D ($1,01 \pm 0,03$) dos atletas de elite regional apresenta valores menores que a média do rácio 2D:4D ($1,03 \pm 0,02$) nos atletas locais (rácio 2D:4D: $t = 2,79$; $p < 0,007$; $d = 0,66$, moderada).

3.3.5. Discussão

O presente estudo teve como objetivo analisar o comprimento dos dedos e os seus rácios na mão esquerda, em jovens atletas do sexo masculino, praticantes de futebol, com idades compreendidas entre os 14 e 16 anos considerando, ainda, a variação associada a nível competitivo entre atletas que jogavam em equipas locais face aos atletas que eram convocados para as equipas distritais/ nacionais, ou seja, equipas de elite. Verificou-se uma tendência para o comprimento dos dedos ser superior no grupo elite regional, com exceção do 1º dedo (dedo polegar). Adicionalmente, a maioria dos rácios, do grupo de elite regional, são menores sustentando a nossa hipótese inicial.

É de salientar que o 4D apresentar uma magnitude de efeito moderado entre estes dois grupos, sendo o 4D maior nos atletas do grupo de elite regional. Estudos realizados em torno da variação associada ao sexo verificaram que os homens apresentam o 4D mais cumprido comparativamente ao 2D (característica masculina), comparativamente às mulheres; esta relação poderá advir da quantidade de esteróides sexuais, principalmente a quantidade de testosterona a que o embrião foi exposto (Fink et al., 2004; Voracek et al., 2005). De acordo com Manning (2002) a quanto mais testosterona o embrião for exposto, maior será o comprimento do 4D. Consequentemente os indivíduos do sexo masculino têm uma proporção de dígitos mais baixa face às mulheres (Manning et al., 2002) e observa-se também que nos atletas masculinos o rácio 2D:4D é ainda menor, comparativamente aos homens que não praticam desporto (Kociuba et al., 2016). No nosso estudo, o rácio 2D:4D nos atletas elite regional apresentam valores menores do que os atletas do grupo local, com uma magnitude de efeito moderado. Este estudo vai ao encontro do estudo de Acar (2018) que analisou jovens jogadores de futebol (19 jogadores nacionais e 19 jogadores amadores) observando que as proporções 2D:4D da mão direita e esquerda era menor nos jogadores de futebol nacional face aos amadores (Acar e Tutkun, 2018). Numa amostra com 93 jovens atletas masculinos de basquetebol semi-profissionais (South Australian Premier League) e profissionais (Australian National

Basketball League), observou que os jogadores com baixo 2D:4D tendem a ter um melhor desempenho em jogos profissionais e semiprofissionais, especialmente na marcação de pontos, e registo de mais assistências em reviravoltas no jogo. Constatou, também, que a média de 2D:4D não diferiu estatisticamente em jogadores que iniciam o jogo em campo face aos que iniciam o jogo no banco (Klapprodt et al., 2018). Como referido, anteriormente, o 2D:4D poderá ser considerado um biomarcador putativo da testosterona pré-natal. Sabe-se que a testosterona intrauterina influencia o desenvolvimento de determinados aspetos: físicos, como a massa muscular; mental, como consciência visual-espacial e funcionamento cognitivo; sistemas fisiológicos, como a força muscular e eficiência cardiovascular; e sistemas comportamentais, como agressividade e dominância (Cohen-Bendahan et al., 2005; Zheng & Cohn, 2011); fatores importantes para o sucesso desportivo. Apesar de não terem sido analisadas variáveis relacionadas com a aptidão física, nem características comportamentais ou cognitivas, sabe-se que a seleção de atletas de elite se baseia num conjunto rigoroso de critérios físicos, fisiológicos, técnicos e comportamentais, que frequentemente contribuem para a diminuição da variabilidade do desempenho, resultando numa “sobrevivência atlética do mais apto”. Neste contexto, poderá ser o baixo 2D:4D uma variável de futuro promissor para ser incluída nos critérios multidisciplinares utilizados para identificar jovens talentos, sabendo-se que esta é uma característica genética e que não se altera com a idade (Manning & Fink, 2018b).

Por último, analisamos o comportamento dos restantes rácios. Observamos que os atletas de elite regional apresentam valores inferiores na maioria dos rácios relativamente os atletas locais, com exceção aos rácios 2D:5D e 3D:4D. Foi relatado, em humanos adultos, que o dimorfismo sexual também poderá estar presente em 2D:5D e 3D:4D (McFadden & Shubel, 2002) e 2D:3D e 2D:5D (Manning et al., 2003). A nossa amostra é constituída apenas por atletas do sexo masculino e não podemos confirmar o dimorfismo sexual, mas identificamos que o 2D:5D é idêntico nos dois grupos de jovens de sexo masculino, o que parece ir ao encontro destes estudos. Num estudo longitudinal, Trivers et al. (2006), analisou 108 participantes (54 rapazes) e verificou que houve uma tendência para diferenças entre sexos, em todos os rácios, onde as raparigas apresentavam valores mais altos que os rapazes - mas apenas estatisticamente significativo para os rácios 2D:3D e 2D:5D na mão esquerda e 3D:5D na mão direita (Trivers et al., 2006).

Este estudo apresenta limitações que precisam de ser reconhecidas. A amostra é limitada a jovens atletas de futebol do sexo masculino selecionados por conveniência. O protocolo de medição de dedos não é o mais aplicado na bibliografia existente, devido

aos custos inerentes, mas é considerado o mais preciso. Foi demonstrado que a proporção de dígitos baseada em radiografias, embora produza valores médios mais baixos, está correlacionada com medições diretas de mão e fotocópias (Fink & Manning, 2018; Manning et al., 2005). É importante não incluir amostras que considerem a obtenção desta informação por metodologias mais objetivas e misturá-las com informação obtida por metodologias mais indiretas e que aumentam o erro de medida (Ribeiro et al., 2016). Este estudo incentiva a pesquisas adicionais, nomeadamente estudos longitudinais sobre rácio 2D:4D e desempenho desportivo no futebol, em diferentes faixas etárias e etnias, a fim de compreender como se comportam as associações entre estes indicadores.

3.3.6. Conclusão

Concluimos que os comprimentos dos dedos no grupo elite regional são mais compridos, com a exceção do 1º dedo; que os rácios são menores, principalmente o rácio 2D:4D que é considerado um indicador putativo da testosterona pré-natal. Sendo o 2D:4D menor nos jovens atletas de elite regional face aos atletas locais, leva-nos a prever que estes foram expostos a maiores níveis de testosterona intrauterina. O 2D:4D aparece associado à variação causada pelo nível competitivo e, em conjunto com outras medidas de potencial atlético no indivíduo, justificam a sua consideração em baterias dedicadas à identificação de atletas talentosos.

3.3.7. Referências bibliográficas

- Acar, H., & Tutkun, E. (2018). Analysis of the 2D:4D ratios of rational and amateur football players. *International Journal of Applied Exercise Physiology*, 8(1), 1–7. www.ijaep.com
- Cohen-Bendahan, C. C. C., Buitelaar, J. K., van Goozen, S. H. M., Orlebeke, J. F., & Cohen-Kettenis, P. T. (2005). Is there an effect of prenatal testosterone on aggression and other behavioral traits? A study comparing same-sex and opposite-sex twin girls. *Hormones and Behavior*, 47(2), 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2004.10.006>
- Fink, B., & Manning, J. (2018). Direct versus indirect measurement of digit ratio: New data from Austria and a critical consideration of clarity of report in 2D:4D studies. *Early Human Development*, 127, 28–32.

- <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2018.09.007>
- Fink, B., Manning, J., & Neave, N. (2004). Second to fourth digit ratio and the “big five” personality factors. *Personality and Individual Differences*, 37(3), 495–503. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2003.09.018>
- Folland, J. P., Mc Cauley, T. M., Phypers, C., Hanson, B., & Mastana, S. S. (2012). Relationship of 2D:4D finger ratio with muscle strength, testosterone, and androgen receptor CAG repeat genotype. *American Journal of Physical Anthropology*, 148(1), 81–87. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22044>
- Hopkins, W., Marshall, S., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(1), 3–12. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Hsu, C.-C., Su, B., Kan, N.-W., Lai, S.-L., Fong, T.-H., Chi, C.-P., Chang, C.-C., & Hsu, M.-C. (2015). Elite collegiate tennis athletes have lower 2D:4D ratios than those of nonathlete controls. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(3), 822–825. www.nsca.com
- Joyce, C. W., Kelly, J. C., Chan, J. C., Colgan, G., O’Briain, D., Mc Cabe, J. P., & Curtin, W. (2013). Second to fourth digit ratio confirms aggressive tendencies in patients with boxers’ fractures. *Injury*, 44(11), 1636–1639. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2013.07.018>
- Keshavarz, M., Bayati, M., Farzad, B., Dakhili, A., & Agha-Alinejad, H. (2017). The second to fourth digit ratio in elite and non-elite greco-roman wrestlers. *Journal of Human Kinetics*, 60(1), 145–151. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0097>
- Klapprodt, K. L., Fitzgerald, J. S., Short, S. E., Manning, J., & Tomkinson, G. R. (2018). Relationships between the digit ratio (2D:4D) and game-related statistics in professional and semi-professional male basketball players. *American Journal of Human Biology*, 30(6). <https://doi.org/10.1002/ajhb.23182>
- Kociuba, M., Chakraborty, R., Ignasiak, Z., & Koziel, S. (2019). Digit ratio (2D:4D) moderates the change in handgrip strength on an aggressive stimulus: A study among Polish young adults. *Early Human Development*, 128, 62–68. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2018.11.009>
- Kociuba, M., Koziel, S., & Chakraborty, R. (2016). Sex differences in digit ratio (2D:4D) among military and civil cohorts at a military academy in Wrocław, Poland. *Journal of Biosocial Science*, 48(5), 658–671. <https://doi.org/10.1017/S0021932015000401>

- Mailhos, A., Buunk, A. P., Del Arca, D., & Tutte, V. (2016). Soccer players awarded one or more red cards exhibit lower 2D:4D ratios. *Aggressive Behavior*, 42(5), 417–426. <https://doi.org/10.1002/ab.21638>
- Manning, J. (2002). *Digit ratio: a pointer to fertility, behavior, and health*. Rutgers University Press.
- Manning, J., Bundred, P. E., & Fink, B. (2002). The ratio of 2nd to 4th digit length: a proxy for transactivation activity of the androgen receptor gene? *Medical Hypotheses*, 59, 334–336. [https://doi.org/10.1016/S0306-9877\(02\)00181-0](https://doi.org/10.1016/S0306-9877(02)00181-0)
- Manning, J., & Fink, B. (2018). Digit Ratio. *Encyclopedia of Evolutionary Psychological Science* (pp. 1–12). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16999-6_3829-1
- Manning, J., & Hill, M. R. (2009). Digit ratio (2D:4D) and sprinting speed in boys. *American Journal of Human Biology*, 21(2), 210–213. <https://doi.org/10.1002/ajhb.20855>
- Manning, J., Callow, M., & Bundred, P. E. (2003). Finger and toe ratios in humans and mice: Implications for the aetiology of diseases influenced by HOX genes. *Medical Hypotheses*, 60(3), 340–343. [https://doi.org/10.1016/S0306-9877\(02\)00400-0](https://doi.org/10.1016/S0306-9877(02)00400-0)
- Manning, J., Caswell, N., Fink, B., & Neave, N. (2005). Photocopies yield lower digit ratios (2D:4D) than direct finger measurements. *Archives of Sexual Behavior*, 34(3), 329–333. <https://doi.org/10.1007/s10508-005-3121-y>
- Manning, J., Churchill, A. J. G., & Peters, M. (2007). The effects of sex, ethnicity, and sexual orientation on self-measured digit ratio (2D:4D). *Archives of Sexual Behavior*, 36(2), 223–233. <https://doi.org/10.1007/s10508-007-9171-6>
- Manning, J., & Fink, B. (2018). Sexual dimorphism in the ontogeny of second (2D) and fourth (4D) digit lengths, and digit ratio (2D:4D). *American Journal of Human Biology*, 30(4), e23138. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23138>
- Manning, J., Scutt, D., Wilson, J., & Lewis-Jones, D. I. (1998). The ratio of 2nd to 4th digit length: a predictor of sperm numbers and concentrations of testosterone, luteinizing hormone and oestrogen. *Human Reproduction*, 13(11), 3000–3004. <https://doi.org/10.1093/humrep/13.11.3000>
- Manning, J., & Taylor, R. P. (2001). Second to fourth digit ratio and male ability in sport: Implications for sexual selection in humans. *Evolution and Human Behavior*, 22(1). [https://doi.org/10.1016/S1090-5138\(00\)00063-5](https://doi.org/10.1016/S1090-5138(00)00063-5)

- McFadden, D., & Shubel, E. (2002). Relative lengths of fingers and toes in human males and females. *Hormones and Behavior*, 42(4), 492–500. <https://doi.org/10.1006/hbeh.2002.1833>
- Nobari, H., Alves, A. R., Clemente, F. M., & Pérez-Gómez, J. (2021). Influence of 2D:4D ratio on fitness parameters and accumulated training load in elite youth soccer players. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 13(1), Article 54. <https://doi.org/10.1186/s13102-021-00354-5>
- Perciavalle, V., Di Corrado, D., Petralia, M. C., Gurrisi, L., Massimino, S., & Coco, M. (2013). The second-to-fourth digit ratio correlates with aggressive behavior in professional soccer players. *Molecular Medicine Reports*, 7(6), 1733–1738. <https://doi.org/10.3892/mmr.2013.1426>
- Ribeiro, E., Neave, N., Morais, R. N., Kilduff, L., Taylor, S. R., Butovskaya, M., Fink, B., & Manning, J. (2016). Digit ratio (2D:4D), testosterone, cortisol, aggression, personality and hand-grip strength: Evidence for prenatal effects on strength. *Early Human Development*, 100, 21–25 <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2016.04.003>
- Ribeiro, E., Neave, N., Morais, R. N., & Manning, J. (2016). Direct versus indirect measurement of digit ratio (2D:4D): A critical review of the literature and new data. *Evolutionary Psychology*, 14(1), 1-8. <https://doi.org/10.1177/1474704916632536>
- Trivers, R., Manning, J., & Jacobson, A. (2006). A longitudinal study of digit ratio (2D:4D) and other finger ratios in Jamaican children. *Hormones and Behavior*, 49(2), 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2005.05.023>
- Voracek, M., Manning, J., & Ponocny, I. (2005). Digit ratio (2D:4D) in homosexual and heterosexual men from Austria. *Archives of Sexual Behavior*, 34(3), 335–340. <https://doi.org/10.1007/s10508-005-3122-x>
- Zheng, Z., & Cohn, M. J. (2011). Developmental basis of sexually dimorphic digit ratios. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(39), 16289–16294. <https://doi.org/10.1073/pnas.1108312108>

3.4. Estudo 4 - Rácio 2D:4D como preditor de variabilidade inter-individual em indicadores de antropometria e aptidão física em jogadores adolescentes de hóquei em patins

Estudo Submetido na Revista *Jornal of Human Kinetics*: Bernardino, V., Rebelo, A. Cruz, J., Vaz, V., Valente-dos-Santos, J., & Coelho-e-Silva, M. J. (2025). 2D:4D ratio as a predictor of inter-individual variability in anthropometric and physical fitness indicators in adolescent roller hockey players.

3.4.1. Resumo

O rácio 2D:4D tem sido apontado como um biomarcador a considerar para integrar baterias multidisciplinares dedicadas à identificação de atletas de elevado potencial desportivo. O objetivo deste estudo foi o de analisar o efeito de grupos contrastantes no rácio 2D:4D sobre: o tamanho corporal, a massa do ventrículo esquerdo e testes de desempenho no terreno e no laboratório, dedicados à avaliação de qualidades físicas em jovens hoquistas. A amostra inclui 36 jovens do sexo masculino, jogadores de hóquei em patins, entre os 13,53 e 16,77 anos. Foram medidos os parâmetros antropométricos como tamanho corporal, proporcionalidade, massa do ventrículo esquerdo, componente do somatótipo e comprimento do 2º e 4º dedo da mão esquerda, além de testes de força e corrida. Foi utilizado o teste t independente e a magnitude de efeito (d de Cohen). Observámos que o grupo com baixo 2D:4D, apesar das diferenças marginais, é mais rápido ($t=-1,994$; $p=0,054$; $d=0,623$) e com melhor desempenho aeróbio ($t=1,852$; $p=0,073$; $d=0,610$) do que o grupo com alto 2D:4D. Nos testes que avaliam a força os grupos apresentam resultados semelhantes.

Em conclusão, os atletas de ambos os grupos apresentam semelhanças quanto à antropometria e força, mas o grupo com baixo rácio 2D:4D revela-se mais eficaz nos testes de velocidade e desempenho aeróbio.

Palavras-Chave: seleção desportiva, jovens atletas, antropometria, rácio dos dedos, performance física.

3.4.2. Introdução

O método de determinação da proporção rácio 2D:4D (comprimento do segundo dedo (2D) dividido pelo comprimento do quarto dedo (4D)), de acordo com a metodologia e os critérios de John Manning, tem sido utilizado numa tentativa de identificar atletas promissores (Manning, 2002; Voracek et al., 2010). Sabe-se que a longo prazo a exposição pré-natal à testosterona tem efeitos organizacionais na estrutura e função de vários sistemas corporais, incluindo os sistemas cardiovascular, músculo-esquelético e nervoso central (Zheng & Cohn, 2011). Estudos científicos concluem que 2D:4D é estabelecido como um indicador preditivo aceitável da exposição e sensibilidade aos andrógenos pré-natais (Manning et al., 1998), tal como um marcador preditivo de desempenho desportivo (Manning & Taylor, 2001). Pesquisas anteriores referem

associações negativas de 2D:4D ao desempenho desportivo de atletas, em diferentes modalidades desportivas, considerando testes de aptidão física tais como força de preensão manual (Kozieł & Malina, 2018a; Tomkinson & Tomkinson, 2017), força muscular (Hsu et al., 2018), velocidade em corridas de curta e longa distância (Manning et al., 2007a; Manning & Hill, 2009) corrida de resistência, consumo máximo de oxigénio (VO_{2max}) e concentração máxima de lactato no sangue (Hill et al., 2012).

O hóquei em patins é um desporto *indoor*, jogado por duas equipas, cada uma com cinco atletas, sendo um deles o guarda-redes, numa pista retangular lisa com 40X20 metros, rodeada por uma tabela com um metro de altura (FIRS, 2018). É utilizado um *stick*, para manusear a bola, e patins de 4 rodas para locomoção, perfazendo o trinómio patins-*stick*-bola. Existe um conjunto de regras específicas no jogo, cujo objetivo final é a inserção da bola na baliza adversária (Vaz, 2011). Esta modalidade é referida como sendo um desporto intermitente de alta intensidade, em que ações não contínuas de diferentes níveis de velocidade são seguidas a períodos de recuperação incompletos (Calò et al., 2009; Yagüe et al., 2013), exigindo um metabolismo bem desenvolvido para trabalho de curta e longa duração (Yagüe et al., 2013). Além disso, as coordenações intramuscular, intermuscular e neuromuscular são determinantes na patinagem e no domínio e controlo da bola com o *stick* (Calò et al., 2009) e características específicas de condicionamento de desempenho como força, potência, agilidade, velocidade e consumo máximo de oxigénio são de particular importância para o desempenho atlético (Hoppe et al., 2015). Neste sentido, tal como ocorre noutras modalidades desportivas, a diferença na qualidade individual dos jogadores faz com que haja uma elevada competitividade na captação de atletas talentosos para integrarem em equipas de elite. O talento desportivo é o resultado da combinação de vários fatores, nomeadamente das capacidades físicas, como a força e a velocidade, das capacidades psicológicas, como a confiança e a concentração, das capacidades antropométricas e ainda de fatores intangíveis, que fogem ao controlo do indivíduo (Garganta, 2009).

A inexistência de investigação sobre grupos contrastantes no rácio 2D:4D e variados aspetos da aptidão física, avaliada objetivamente na modalidade do hóquei em patins em jovens atletas, leva-nos ao presente estudo. Neste sentido, o objetivo desta investigação foi o de examinar o efeito de grupos contrastantes no rácio 2D:4D no (i) tamanho corporal, proporcionalidade, massa do ventrículo esquerdo (MVE) e componente do

somatótipo; (ii) testes de força (tarefas de campo e dinamometria isocinética); e (iii) testes de corrida (velocidade, desempenho aeróbio e aptidão aeróbia), em jogadores jovens hoquistas. Com base na literatura anterior, estabelecemos a hipótese de que os atletas com baixo 2D:4D apresentariam melhores resultados nas variáveis de desempenho avaliadas.

3.4.3. Métodos

Desenho e procedimentos

O estudo apresenta uma natureza transversal. O recrutamento dos jovens atletas foi feito em clubes da região centro de Portugal, na modalidade de hóquei em patins. A pesquisa foi aprovada pelo Conselho Científico da Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física da Universidade de Coimbra. A permissão para entrar no estudo foi obtida através dos pais e instituições desportivas e, quando apropriado, pelos próprios participantes (≥ 16 anos). Os jovens atletas participaram no estudo de forma livre e espontânea, sendo informados que poderiam desistir do estudo a qualquer momento, e foi garantida a confidencialidade dos dados.

Foi explicado aos atletas todos os procedimentos do estudo, e realizada a calendarização da recolha dos dados. No primeiro dia foram registados os valores antropométricos, efetuadas as radiografias à mão esquerda e as ecocardiografias. No segundo dia foram executados os testes de força (exceto a dinamometria isocinética) e os testes de corrida. Entre cada teste os atletas descansavam durante um período de 30 minutos. Por ultimo, as avaliações isocinética, que foram concluídas num período de uma semana, incluindo uma sessão de familiarização e teste com pelo menos 48 horas entre as sessões.

Participantes

A amostra consiste em 36 jovens caucasianos jogadores de hóquei em patins, com idades compreendidas entre os 13,53–16,77 anos, à data de realização do estudo. Todos os jogadores participaram em treinos regulares de quatro a seis sessões por semana (360 a 510 minutos por semana) e jogavam um jogo semanalmente, durante um período de 10 meses (de setembro a junho). Todos os participantes treinavam e competiam há pelo menos cinco anos num registo de participação em competições nacionais e internacionais.

Antropometria

Os atletas foram avaliados em calção e descalços. A estatura foi medida com precisão de 0,1m usando um estadiómetro Harpenden (modelo 98.603, Holtain Ltd, Crosswell, Reino Unido). A altura sentada foi aferida utilizando um estadiómetro com banco integrado (Harpenden sitting height table, model 98.607, Holtain, Crosswell, UK com precisão de 0,1m. A massa corporal foi medida usando uma balança SECA com precisão de 0,1 kg (modelo 770, Hanover, MD, EUA). As pregas de gordura subcutâneas (i.e., bicipital, tricipital, subescapular, supra-iliaca e gemelar) foram efetuadas no lado direito do corpo utilizando um adipómetro (*Lange Caliper, Cambridge Scientific Industries, Inc., Cambridge, MD, USA*). Os diâmetros bicondilo-úmeral e bicondilo-fémural foram obtidos através de um goniómetro, e os perímetros braquial e gêmeos com uma fita métrica. Todas as medições foram realizadas pelo mesmo cientista, com uma vasta experiência, utilizando os mesmos instrumentos, como protocolo estandardizado (Lohman et al., 1988).

Os erros técnicos intra-observador estão em concordância com erros em várias pesquisas; estatura (0,27 cm), massa corporal (0,47 kg) e dobras cutâneas (0,47 a 0,72 mm) (Coelho-E-Silva et al., 2012; Valente-dos-Santos et al., 2013).

Radiografias e medição dos dedos

As radiografias à mão esquerda foram realizadas por um médico radiologista, utilizando um equipamento Siemens (modelo Multix B, potência de 30Kw). Através das radiografias, foi medido o comprimento do 2º e 4º dedos, osso a osso (i.e., metacarpos, falanges proximais, mediais e distais), desde a sua extremidade mais proximal até à extremidade mais distal, por um único cientista de desporto, utilizando uma régua Rotring de precisão de 0,01mm. Cada dedo foi medido duas vezes e foi feita a média das medidas. A relação do 2º e 4º dedo foi calculada dividindo o comprimento do 2º dedo em relação ao 4º dedo (2D:4D).

Ecocardiografia

A avaliação ecográfica foi efetuada a cada atleta em repouso, com um equipamento de ultrassom Vivid 3 com um transdutor de 1,5–3,6 MHz (GE Vingmed

Ultrasound, Horten, Noruega). Os ecocardiogramas em modo M foram derivados de imagens bidimensionais com visualização direta e foram registrados a 100 mm/s. As medidas da dimensão interna do ventrículo esquerdo no final da diástole, espessura da parede septal no final da diástole e espessura da parede posterior no final da diástole foram obtidas seguindo recomendações da Sociedade Americana de Ecocardiografia (Lang et al., 2005). A MVE foi calculada através da seguinte equação (Devereux et al., 1986).

Eq. 1

$$MVE=0,8 \times \{(1,04[\text{Dimensão interna do ventrículo esquerdo} + \text{Parede Posterior} + \text{Septo interventricular}]^3 - (\text{Dimensão interna do ventrículo esquerdo})^3\} + 0,6$$

Após um intervalo de uma semana foram escolhidos aleatoriamente 10 indivíduos, e avaliados novamente pelo mesmo observador para verificar a variabilidade intra-observador. Foi determinada a diferença e diferença percentual (com denominador, a média das duas medidas) entre as duas medidas considerando os limites de concordância de 95% (LOA; Bland e Altman, 1986). A variabilidade relativa intraobservador para a dimensão interna do ventrículo esquerdo, da parede posterior e do septo interventricular foi de 0,3% (24,1 a 4,8%), 0,3% (24,2 a 4,8%) e 0,8% (26,5 a 8,1%), respetivamente.

Componentes do Somatótipo

Os três componentes do somatótipo, endomorfismo, mesomorfismo e ectomorfismo foram determinados antropometricamente de acordo com a técnica de Heath-Carter (Carter & Heath, 1990). O somatótipo antropométrico de Heath-Carter é calculado a partir de 10 dimensões: massa corporal; estatura; pregas de gordura subcutâneas tricipital, subescapular, suprailíaca e gemelar; diâmetros do úmero e do fêmur; e perímetros dos bíceps e dos gêmeos.

Endomorfismo é a adiposidade relativa que verificamos através da soma de três pregas subcutâneas (subescapular, tricipital e suprailíaca) ajustada para a estatura. Este valor descreve o grau relativo de gordura do corpo.

Equação 1:

$$0,1551 [X] - 0,0068 [X^2] + 0,0000014 [X^3]$$

Em que X é o valor da soma das pregas multiplicado por [170,18 / estatura]

Mesomorfismo é derivado das diâmetros bicôndilo-umeral e bicôndilo-femoral (B-U e B-F), circunferências dos bíceps e gêmeos corrigidas para as pregas de gordura subcutâneas do tríceps (B e G) e dos gêmeos, e estatura (E). As quatro medidas dos membros são ajustadas para a estatura. Este componente expressa o grau relativo de músculo, osso e tecido conjuntivo.

Equação 2:

$$0,858 \times [B-U] + 0,601 \times [F] + 0,188 \times [B] + 0,161 \times [G] - 0,131 \times [E] + 4,5$$

Ectomorfismo (ECTO) é baseado no índice ponderal recíproco (IPR): estatura (E) (cm) dividida pela massa corporal (MC) (kg)^{1/3}. Este componente caracteriza o grau de linearidade, esbeltez e fragilidade da compleição corporal, com baixo desenvolvimento muscular e predominância da área superficial sobre a massa corporal.

Equação 3:

$$IPR = [E, cm] / [MC, kg]^{1/3}$$

Se, $IPR > 40,75$, utilizamos, $ECTO = 0,732 [IPR] - 28,58$

Se, $38,25 < IPR < 40,75$, utilizamos $ECTO = 0,463 [IPR] - 17,63$

Se, $IPR < 38,25$, atribui-se 0,1 ao valor da 1ª componente.

Testes de Força

Teste de abdominais em 60 segundos: a força e resistência muscular abdominal foram avaliadas através do número de abdominais completos realizados em 60 segundos, conforme descrito no protocolo Eurofit (1988). Durante a execução do teste os participantes estavam deitados de costas sobre um colchão, com os braços cruzados e as mãos posicionadas sobre os ombros. Os joelhos permaneciam fletidos e os calcanhares

tocavam o chão. Cada abdominal completo era contabilizado quando os cotovelos tocavam os joelhos.

Teste de força de preensão manual: A força máxima isométrica de preensão foi avaliada utilizando um dinamómetro ajustável (modelo Lafayette, Lafayette, IN, EUA). Os atletas estavam sentados de forma confortável, com o cotovelo fletido a 90° e o antebraço em posição neutra. Foram realizadas duas medições na mão dominante (a mão utilizada para escrever), sendo registado o valor médio das duas tentativas.

Lançamento de bola de 2 kg: O atleta, em pé, segurando a bola medicinal com ambas as mãos atrás da cabeça, realiza o lançamento com a máxima força possível, visando alcançar a maior distância possível (em cm) (Eurofit, 1988). Foram efetuados dois lançamentos, sendo registado o melhor resultado.

Dinamometria isocinética: A avaliação da extensão e flexão isocinética concêntrica e excêntrica do joelho foi realizada utilizando um dinamómetro calibrado (Biodex System 3, Shirley, NY, EUA) a uma velocidade angular de 60°s⁻¹, após um período de aquecimento de 10 minutos em cicloergómetro (Monark, Varberg, Suécia), com resistência mínima a 60 rpm, seguido de dois minutos de alongamentos estáticos dos músculos isquiotibiais e quadríceps. Os participantes encontravam-se sentados, com a anca em flexão padronizada de 85° em relação à posição anatómica. A amplitude de movimento foi definida a partir da extensão máxima voluntária do joelho (0°) até a flexão máxima do joelho (90°). O amortecimento foi configurado com desaceleração forte, conforme as diretrizes do fabricante, sendo 90° a amplitude de movimento testada. Cada participante realizou cinco repetições máximas contínuas em cada membro inferior (Baltzopoulos et al., 1991). As estimativas de confiabilidade intraobservador (coeficiente de variação) para as ações musculares testadas apresentaram variações entre 3,9% e 6,0%. O pico de torque máximo de flexão e extensão do joelho, obtido na melhor repetição das ações musculares concêntricas e excêntricas, foi registado e expresso em Newton-metro (Nm) (Aagaard et al., 1998).

Testes de Corrida

Corrida de 25 metros: a velocidade de deslocamento foi avaliada através de um *sprint* de 25 metros, iniciado a partir de uma posição de partida livre. O tempo de execução foi registado com recurso a células fotoelétricas (Globus Ergo Timer Timing System, Codognè, Itália). Cada participante realizou duas tentativas, sendo considerado o melhor tempo obtido.

Teste vaivém de 20 metros: este teste teve como objetivo avaliar a resistência cardiorrespiratória e a aptidão aeróbia dos participantes. Os atletas foram instruídos a correr entre duas linhas separadas por 20 metros, sincronizando o seu ritmo com sinais sonoros emitidos por um CD previamente gravado. A velocidade inicial foi estabelecida em 8,5 km/h, aumentando progressivamente em incrementos de 0,5 km/h por minuto. O teste foi conduzido em fases de um minuto, calibradas pelo CD. A prova foi interrompida quando o participante manifestou fadiga ou não conseguiu alcançar a linha de chegada em sincronia com o sinal sonoro em duas tentativas consecutivas. Os atletas foram incentivados a manter o esforço até ao limite das suas capacidades, sendo registada a distância total percorrida (Léger et al., 1988).

Aptidão aeróbia: o pico de consumo de oxigénio ($\text{VO}_{2\text{pico}}$) foi determinado através de um teste de corrida incremental realizado numa passadeira motorizada (Quasar, HP Cosmos, Alemanha). O protocolo iniciou-se com uma fase de aquecimento de 2 minutos a 8 km/h, seguindo-se incrementos de velocidade de 2 km/h por minuto até atingir os 16 km/h. A partir deste ponto a intensidade do exercício foi aumentada progressivamente através da elevação da inclinação da passadeira em 2° por minuto, até à exaustão voluntária dos participantes (Bourdon, 2012). A obtenção do $\text{VO}_{2\text{pico}}$ foi considerada válida quando se verificou pelo menos um dos seguintes critérios fisiológicos: (i) razão de troca respiratória (RER) $\geq 1,05$; (ii) frequência cardíaca (FC) dentro de 10% do valor máximo previsto para a idade; (iii) estabilização no consumo de oxigénio, apesar do aumento da intensidade do exercício, ou interrupção voluntária do esforço. O consumo de oxigénio e a produção de dióxido de carbono foram medidos a cada 10 segundos, utilizando um sistema de câmara de mistura (MetaMax System, Cortex Biophysics, Leipzig, Alemanha). A calibração do equipamento e as medições do ar ambiente foram realizadas antes de cada sessão de acordo com as recomendações do fabricante. O fluxo e o volume expiratório foram calibrados com uma seringa de 3 litros (Hans Rudolph, Kansas City, EUA), e os analisadores de gases foram ajustados com gases

de referência de concentrações conhecidas. A frequência cardíaca foi monitorizada continuamente durante o teste com um dispositivo comercialmente disponível (Polar Electro, Finlândia).

Análise estatística

As estatísticas descritivas (média e desvio padrão) foram efetuadas para a amostra total com base em dados morfológicos tais como: tamanho corporal, proporcionalidade, MVE e componente do somatótipo; testes de força (tarefas de campo e dinamometria isocínica) e teste de corrida (velocidade, desempenho aeróbio e aptidão aeróbia). A diferença entre os grupos contrastantes no rácio 2D:4D, nas demais variáveis, foram adicionalmente apreciadas com base do cálculo teste *t* independente, e do cálculo da magnitude do efeito (*d* de Cohen), que foram interpretados qualitativamente do seguinte modo: <0,2 (trivial); 0,2-0,6 (pequena); 0,6-1,2 (moderada); 1,2- 2,0 (larga); 2,0-4,0 (muito larga) >4,0 (extremamente larga) (Hopkins et al., 2009). A análise estatística foi realizada com o software IBM SPSS versão 27.0 (SPSS Inc., IBM Company, EUA).

3.4.4. Resultados

A Tabela 15 apresenta, sumariamente, dados relativamente às medidas antropométricas em jogadores de hóquei em patins adolescentes, do sexo masculino, formando dois grupos contrastantes: grupo com baixo 2D:4D e grupo com alto 2D:4D.

Tabela 15. Média e desvio padrão dos grupos contrastantes no rácio 2D:4D e comparação entre os grupos para tamanho corporal, proporcionalidade, massa ventricular esquerda e componentes somatótipos entre jogadores de hóquei adolescentes do sexo masculino (n=36).

Efeitos do Rótulo de R									
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Mesomorfismo	3,90	1,24	4,71	1,25	-	0,061	0,642	(moderada)
Ectomorfismo	2,84	0,98	2,29	1,39	1,941	0,179	0,441	(pequena)

Nota: DP (desvio padrão); *t* (*t*-valor); *p* (*p*-valor); *d* (Cohen *d*-valor)

Não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas em todas as variáveis antropométricas. O grupo com baixo 2D:4D apresenta sempre valores inferiores à exceção da estatura ($t=0,201$; $p=0,842$; $d=0,065$) e do ectomorfismo ($t=1,371$; $p=0,179$; $d=0,441$). Apesar de não se encontrarem diferenças significativas, a variável mesomorfismo apresenta uma magnitude moderada face aos restantes somatótipos.

A Tabela 16 apresenta os grupos contrastantes no rácio 2D:4D, comparação entre estes nas tarefas de campo e dinamometria isocinética dos joelhos.

Tabela 16. Média e desvio padrão para os grupos contrastantes no rácio 2D:4D e comparação entre os grupos para os componentes dos testes de força (tarefas de campo e dinamometria isocinética) entre jogadores de hóquei adolescentes do sexo masculino ($n=36$).

Variáveis	Unidades de medida	Rácio 2D:4D				<i>t</i>	<i>p</i>	Magnitude de efeito	
		Baixo (n=18)		Alto (n=18)					
		Média	DP	Média	DP			<i>d</i>	qualitativo
Testes Motores									
Abdominais 60-segundos	rept.	29	4,5	30	3,09	-0,476	0,637	0,165	(trivial)
Força aperto de mão	kg	38,7	8,5	40,1	6,3	-0,551	0,585	0,187	(trivial)
Lançamento de bola 2-kg	m	7,13	1,22	7,61	1,67	-1,013	0,318	0,326	(pequena)
Dinamometria isocinética									
Extensor dos joelhos (concêntrico)	N.m	165	34,1	187	40,9	-1,76	0,087	0,573	(pequena)
Extensor dos joelhos (excêntrico)	N.m	238	58,3	261	90,9	-0,883	0,384	0,282	(pequena)
Flexor dos joelhos (concêntrico)	N.m	99	21,6	105	21,9	-0,734	0,468	0,242	(pequena)
Flexor dos joelhos (excêntrico)	N.m	152	40,8	158	33,6	-0,491	0,627	0,165	(pequena)

Nota: DP (desvio padrão); *t* (*t*-valor); *p* (*p*-valor); *d* (Cohen *d*-valor); Rept (repetições).

Verifica-se que em todas as variáveis de força, quer nas tarefas de campo quer na dinamometria isocinética, o grupo alto 2D:4D apresenta valores superiores em todos os testes. Contudo não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos (*d*: trivial a pequeno).

A Tabela 17 apresenta média e desvio padrão para os grupos contrastantes no rácio 2D:4D e comparação entre os grupos para testes de corrida utilizados para avaliar velocidade, desempenho aeróbio e aptidão aeróbia.

Tabela 17. Média e desvio padrão para os grupos contrastantes no rácio 2D:4D e comparação entre os grupos para testes de corrida utilizados para avaliar velocidade, desempenho aeróbio e aptidão aeróbia entre jogadores de hóquei do sexo masculino (n=36).

Variáveis	Unidades de medida	Rácio 2D:4D				<i>t</i>	<i>p</i>	Magnitude de efeito	
		Baixo (n=18)		Alto (n=18)					
		Média	DP	Média	DP			<i>d</i>	(qualitativo)
Corrida 25 metros	segundos	3,98	0,155	4,17	0,366	-1,994	0,054	0,623	(moderada)
Vaivém 20 metros	metros	1766	333	1557	347	1,852	0,073	0,610	(moderada)
VO ₂ pico	L.min ⁻¹	4,01	0,720	3,87	0,642	0,645	0,523	0,215	(pequena)

Nota: DP (desvio padrão); *t* (*t*-valor); *p* (*p*-valor); *d* (Cohen *d*-valor); VO₂pico (Pico de consumo de oxigénio).

Verifica-se que o grupo com baixo 2D:4D é mais rápido, apresentando valores menores ($t=-1,994$; $p=0,054$; $d=0,623$) na corrida de 25 metros. No teste de vaivém 20 metros para avaliar o desempenho aeróbio, o grupo baixo 2D:4D apresenta valores mais elevados (Vaivém 20m: $t=1,852$; $p=0,073$; $d=0,610$), apesar das diferenças serem marginais.

3.4.5. Discussão

Não temos conhecimento da existência de nenhum estudo que relacione o rácio 2D:4D, um biomarcador da testosterona intrauterina, com diversas variáveis antropométricas e testes físicos em jovens atletas na modalidade de hóquei em patins. Com efeito, a presente investigação teve como objetivo compreender o efeito de grupos contrastantes no rácio 2D:4D em diversas variáveis antropométricas, na força corporal e na aptidão física, em jogadores jovens hoquistas. Observamos que, apesar de os grupos serem idênticos a nível antropométrico e nos níveis de força, o grupo baixo 2D:4D obteve melhores resultados nos testes de corrida, avaliados em terreno. Esta informação sendo nova no que respeita à especificidade de associação de 2D:4D em jovens atletas hoquistas

com testes de desempenho físico, mantém a tendência reportada na literatura de associação positiva entre o baixo 2D:4D e o desempenho desportivo em várias modalidades coletivas (Bennett et al., 2010; Eler & Eler, 2018; Hull et al., 2015; Perciavalle et al., 2013) e individuais (Acar & Eler, 2018; Hsu et al., 2015).

Na avaliação das medidas antropométricas, como evidenciado anteriormente, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os dois grupos. Contudo, os valores da estatura, altura sentada e massa corporal identificados neste trabalho, estão de acordo com os dados relatados na literatura existente com jovens hoquistas (Coelho e Silva et al., 2012; Valente-dos-Santos et al., 2013; Castanheira et al., 2014).

Relativamente à MVE também não existem diferenças entre grupos de baixo 2D:4D ($158,5 \pm 29,87\text{g}$) e alto 2D:4D ($161,8 \pm 33,70\text{g}$). Ambos os grupos apresentam valores que vão ao encontro do estudo de Valente-dos-santos et al. (2013) e de Castanheira et al. (2014). Sabe-se que a partir dos anos pré-pubertários que o treino intermitente e de curta duração promove a remodelação cardíaca (Zdravkovic, 2010). No mesmo sentido verificou-se, posteriormente, que os jovens atletas de elite apresentam importantes adaptações nas funções cardíacas quando comparados a não atletas, independentemente da sua estatura (Castanheira et al., 2014).

Quanto às medidas de somatótipo (i.e., endomorfismo, mesomorfismo e ectomorfismo), não foram encontradas diferenças significativas entre grupos; apesar do grupo com alto 2D:4D apresentar um valor superior no mesomorfismo, com uma magnitude de efeito moderada. Considera-se que o mesomorfismo traduz o grau de desenvolvimento músculo-esquelético relativo (em relação à estatura), e os atletas com biótipo mesomorfo são caracterizados por músculos bem desenvolvidos e uma proporção equilibrada entre a massa muscular e a gordura corporal (Carter & Heath, 1990). Neste sentido, seria espectável que o grupo com baixo 2D:4D apresentasse um mesomorfismo maior devido a uma maior exposição de testosterona intrauterina, mas não foi encontrada uma relação estabelecida entre estas variáveis na literatura científica. Por exemplo, os valores do somatótipo, do presente estudo, são semelhantes ao estudo de Vicente et al. (2021) que analisa a composição corporal em jogadores de hóquei em patins de nível nacional, com idades entre os 17 e 20 anos, proveniente de Espanha, Países Baixos e Alemanha (endomorfismo $2,8 \pm 0,7$; mesomorfismo $4,0 \pm 1,0$; ectomorfismo $2,4 \pm 0,9$).

Mesmo considerando investigações com uma amostras de atletas, muito particulares, em traços morfológicos, como o de Peeters e Claessens (2013), com 145 ginastas femininas caucasianas de elite, de 20 países, com média de idades $16,4 \pm 1,6$ anos, também não foram registadas diferenças significativas entre o 2D:4D e as medidas de somatótipos.

Nos testes de força também não houve diferenças significativas entre os grupos. Estes resultados reforçam a literatura existente, onde indicam que o 2D:4D é um correlato negativo fraco de força (Pasanen et al., 2022). Na literatura pesquisada não encontramos nenhuma relação com 2D:4D direita ou esquerda e a força de tronco ou membros superiores (Kozieł & Malina, 2018b; Lombardo & Otieno, 2021). Na força de preensão manual alguns estudos referem a existência de associação com o baixo 2D:4D (Kociuba et al., 2019; Ribeiro et al., 2016; Tomkinson & Tomkinson, 2017). Recentemente, Pasanen (2022), numa meta-análise, investigou a relação entre 2D:4D e a força de preensão manual. Para isso analisou 22 estudos, baseando-se num grupo de 5271 indivíduos de 11 países e apurou que 2D:4D era um correlato negativo fraco de força e que nem o sexo nem a idade moderaram esta relação. Na força isocinética dos membros inferiores através do modo concêntrico e excêntrico dos músculos quadricípites e isquiotibiais também não encontramos diferenças entre grupos, estando em concordância com Folland (2012), que ao analisar a relação 2D:4D com a força isocinética dos extensores do joelho em 77 jovens caucasianos provenientes do Reino Unido, não encontrou nenhuma evidência da força com 2D:4D. Este enquadramento, juntamente com a literatura dedicada ao tema, (Lombardo & Otieno, 2021; Longman et al., 2011; Valla & Ceci, 2011), leva-nos a considerar que a associação de 2D:4D com desempenho desportivo não parece ser explicada por uma influência na força muscular locomotora. Por outro lado, parece que a influência da testosterona fetal exerce a sua influência no desenvolvimento e organização do cérebro. Portanto, é possível que a relação entre a proporção 2D:4D e a força muscular seja influenciada por diversos fatores tais como as habilidades motoras ou cognitivas, nível de atividade física e/ou características genéticas individuais, em vez de produção motora máxima. Contrariamente, Nobari et al. (2021) ao investigar a influência dos parâmetros de aptidão física, nomeadamente na força isométrica dos músculos quadricípites e isquiotibiais, em jovens atletas praticantes de futebol, concluíram que existe uma correlação negativa com a porção dos dígitos e a força. Estas diferenças podem ser parcialmente explicadas pelo impacto de diferentes aproximações metodológicas (i.e., isométrica vs. isocinética), ou, simplesmente, é mais

um indicador de que ainda não compreendemos a dinâmica de interação/associação do 2D:4D e a força muscular.

Relativamente à velocidade, verificamos que o grupo com baixo 2D:4D é mais rápido face ao grupo com alto 2D:4D, apesar de não ser estatisticamente significativo. Ao analisarmos o estudo de Manning e Hill (2009), que considera 241 participantes e correlaciona o 2D:4D e o tempo de corrida no *sprint* de 50 metros, verifica-se que os atletas com baixo 2D:4D superam os seus pares com alto 2D:4D. Contudo, quando é controlado o efeito espúrio da idade, índice de massa corporal e maturidade, as correlações parciais entre 2D:4D e a velocidade foram fracas (Manning & Hill, 2009). Alguns autores referem que o baixo 2D:4D está mais relacionado com a corrida de resistência, do que com a corrida de velocidade (Eklund et al., 2020; Manning et al., 2007b; Trivers et al., 2013). Ao avaliarmos a corrida de resistência, através do teste de vaivém 20m, verificamos que o grupo de baixo 2D:4D apresenta um maior número de metros percorridos ($d=0,610$, moderado). Hönekopp e Schuster (2010) com recurso a uma meta-análise, demonstraram que há correlações mais fortes entre o 2D:4D e o desempenho de exercícios de longa duração (i.e., exercícios que exigem grande capacidade cardiorrespiratória tais como a corrida). Quando são consideradas tarefas de curta duração, com maior aptidão muscular, as associações mostram-se mais fracas (Hönekopp & Schuster, 2010).

Este estudo está em concordância com a meta-análise, dado que tanto na corrida de 25m como em desempenho aeróbio (corrida de vaivém 20m), o grupo com menor 2D:4D apresenta resultados superiores. É sugerido que a aptidão aeróbia é uma componente importante do desempenho no hóquei em patins (Ares, 2005), observando-se em jogo ações não contínuas, mas de alta intensidade (Kingman & Dyson, 1997). Hill et al. (2012), com uma amostra de 41 jovens atletas praticantes de várias modalidades desportivas (futebol, squash, ténis de mesa e atletismo), constatou a não existência de relações significativas entre 2D:4D e consumo máximo de oxigénio ($VO_{2máx}$), mas apurou que o 2D:4D direita-esquerda estava negativamente relacionado com $VO_{2máx}$, velocidade consumo máximo de oxigénio e limiar anaeróbico máximo. Justifica a possibilidade de haver um correlato do número de repetições do triplete citosina-adenina-guanina, de modo a que a um baixo número de repetições do triplete citosina-adenina-guanina (alta sensibilidade à testosterona) está associado a valores baixos de 2D:4D direita-esquerda. Sugere também que os efeitos organizadores da testosterona pré-natal no desenvolvimento do sistema cardiovascular podem afetar os níveis de desempenho

durante o exercício aeróbio mais tarde na vida (Hill et al., 2012). Recentemente, Lombardo e Otieno (2021), ao estudar maratonistas de elite, verificou que o 2D:4D direita foi negativamente correlacionado com o $VO_{2máx}$ nos masculinos, mas não nos femininos. Este efeito sugere a existência de diferenças sexuais nos efeitos do testosterona pré-natal no desenvolvimento cardiovascular que podem afetar subsequente o $VO_{2máx}$ (Lombardo & Otieno, 2021). No entanto, Nobari (2021) investigou 24 jovens jogadores de futebol de elite, no início, meio e final da época e concluiu que o 2D:4D direito e o 2D:4D esquerdo foram amplamente e negativamente associados a mudanças no $VO_{2máx}$ e na força muscular ao longo da época (Nobari et al., 2021). Neste estudo observamos que os jovens jogadores do hóquei que apresentam um 2D:4D menor estão associados a atletas mais rápidos e com mais resistência física, possivelmente devido a um desenvolvimento cardiovascular mais eficiente que poderá ser efeito de uma maior exposição à testosterona pré-natal. Essa exposição durante a gestação, afeta o sistema cardiorrespiratório, influenciando o crescimento do coração, a formação das câmaras cardíacas e dos grandes vasos, além de regular a pressão arterial ao longo da vida (Gebara et al., 2001; Schaible et al., 1984).

É importante destacar que muitos autores realizam a medição dos dedos de forma direta, pois é menos dispendiosa a nível de tempo. Contudo, a medição mais precisa do comprimento dos dedos é através de radiografias que incluem as três falanges (Manning & Fink, 2018), tal como foi realizado no presente estudo. A medição dos dedos através de raio-x obtém valores médios mais baixos, quando comparado com medições diretas das mãos e/ou fotocópias (Manning & Fink, 2018; Manning et al., 2005). O presente estudo na modalidade de hóquei em patins incentiva a pesquisas adicionais, para obter resultados mais robustos, preferencialmente estudos com um tamanho da amostra maior, medição dos dedos da mão direita e esquerda e um acompanhamento dos atletas nas diferentes faixas etárias e escalões, de modo a compreender com mais segurança as verdadeiras interações.

3.4.6. Conclusão

Conclui-se que os grupos contrastantes no 2D:4D são semelhantes no que respeita às variáveis consideradas de antropometria e força. Contudo, o grupo com baixo 2D:4D apresenta-se com mais eficácia nos testes de velocidade e desempenho aeróbio: tarefas específicas da atividade hoquista. Os resultados identificados vêm reforçar o corpo da

literatura existente, que tem identificado associações entre baixo 2D:4D e um sistema cardiorrespiratório bem desenvolvido. No entanto, é importante destacar que o 2D:4D, por si só, não deve ser considerado como uma variável de potencial predição ou aferição dos níveis de desempenho em tarefas de corrida, de atletas talentosos, em geral, e especificamente de atletas com características similares aos do presente estudo.

3.4.7. Referências bibliográficas

- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Magnusson, S. P., Larsson, B., & Dyhre-Poulsen, P. (1998). A new concept for isokinetic hamstring: Quadriceps muscle strength ratio. *American Journal of Sports Medicine*, 26(2), 231-237.
<https://doi.org/10.1177/03635465980260021201>
- Acar, The Relationship of digit ratio (2D:4D) with cerebral lateralization and grip strength in elite swimmers. *Journal of Education and Training Studies*, 6(4), 84-89.
<https://doi.org/10.11114/jets.v6i4.3040>
- Baltzopoulos, V., Williams, J. G., & Brodie, D. A. (1991). Sources of error in isokinetic dynamometry: effects of visual feedback on maximum torque. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 13(3), 138–142. www.jospt.org
- Bennett, M., Manning, J., Cook, C. J., & Kilduff, L. P. (2010). Digit ratio (2D:4D) and performance in elite rugby players. *Journal of Sports Sciences*, 28(13), 1415–1421.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2010.510143>
- Bourdon, P. (2012). Physiological tests for elite athletes. *Australian Institute of Sport* (Ed.), *Physiological tests for elite athletes* (2nd ed.). Human Kinetics.
- Calò, C. M., Sanna, S., Piras, I. S., Pavan, P., & Vona, G. (2009). Body composition of Italian female hockey players. *Biology of Sport*, 26(1).
<https://doi.org/10.5604/20831862.890172>
- Carter JEL, Heath BH (1990). *Somatotyping: development and applications*. Cambridge University Press
- Claessens, A.L., Beunen, G., & Malina, R.M. (2000). Anthropometry, physique, body composition and maturity. In N. Armstrong, & W. van Mechelen (Eds). *Paediatric Exercise Science and Medicine*, Oxford University Press.
- Coelho-E-Silva, M. J., Vaz, V., Simões, F., Carvalho, H. M., Valente-Dos-Santos, J., Figueiredo, A. J., Pereira, V., Vaeyens, R., Philippaerts, R., Elferink-Gemser, M. T.,

- & Malina, R. M. (2012). Sport selection in under-17 male roller hockey. *Journal of Sports Sciences*, 30(16), 1799-1806.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2012.709262>
- Council of Europe. Committee for the Development of Sport. (1988). *Eurofit: Handbook for the Eurofit tests of physical fitness*. Committee of Experts on Sports Research, Council of Europe.
- Devereux, R. B., Alonso, D. R., Lutas, E. M., Gottlieb, G. J., Campo, E., Sachs, I., & Reichek, N. (1986). Echocardiographic assessment of left ventricular hypertrophy: Comparison to necropsy findings. *The American Journal of Cardiology*, 57(6).
[https://doi.org/10.1016/0002-9149\(86\)90771-X](https://doi.org/10.1016/0002-9149(86)90771-X)
- Eklund, E., Ekström, L., Thörngren, J. O., Ericsson, M., Berglund, B., & Hirschberg, A. L. (2020). Digit ratio (2D:4D) and physical performance in female olympic athletes. *Frontiers in Endocrinology*, 11, 292. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00292>
- Eler, N., & Eler, S. (2018). N., & Eler, S. (2018). 2D: 4D, Lateralization and strength in handball players. *Journal of Education and Training Studies*, 6(5), 170-174.
<https://doi.org/10.11114/jets.v6i5.3220>
- Garganta, J. (2009). *Identificação, seleção e promoção de talentos nos jogos desportivos: factos, mitos e equívocos*. <http://pt.wikipedia.org/wiki/Talento>
- Hill, R., Simpson, B., Manning, J., & Kilduff, L. (2012). Right-left digit ratio (2D: 4D) and maximal oxygen uptake. *Journal of Sports Sciences*, 30(2), 129–134.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2011.637947>
- Hönekopp, J., & Schuster, M. (2010). A meta-analysis on 2D:4D and athletic prowess: Substantial relationships but neither hand out-predicts the other. *Personality and Individual Differences*, 48(1), 4–10. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2009.08.009>
- Hopkins, W., Marshall, S., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(1), 3–12. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Hoppe, M. W., Freiwald, J., Baumgart, C., Born, D. P., Reed, J. L., & Sperlich, B. (2015). Relationship between core strength and key variables of performance in elite rink hockey players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 55(3), 150-157.
- Hsu, C.-C., Su, B., Kan, N.-W., Lai, S.-L., Fong, T.-H., Chi, C.-P., Chang, C.-C., & Hsu, M.-C. (2015). Elite collegiate tennis athletes have lower 2D:4D ratios than those of nonathlete controls. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(3), 822–825. www.nscs.com

- Hull, M. J., Schranz, N. K., Manning, J., & Tomkinson, G. R. (2015). Relationships between digit ratio (2D:4D) and female competitive rowing performance. *American Journal of Human Biology*, 27(2), 157-163. <https://doi.org/10.1002/ajhb.22627>
- IBM Corp. (2020). *IBM SPSS Statistics for Windows* (Version 27.0) (SPSS Inc., IBM Company, USA).
- Kingman, J. C., & Dyson, R. J. (1997). Analysis of roller hockey match play. *Journal of Human Movement Studies*, 32(6), 335-343.
- Kociuba, M., Chakraborty, R., Ignasiak, Z., & Kozieł, S. (2019). Digit ratio (2D:4D) moderates the change in handgrip strength on an aggressive stimulus: A study among Polish young adults. *Early Human Development*, 128, 62–68. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2018.11.009>
- Kozieł, S. M., & Malina, R. M. (2018). Modified maturity offset prediction equations: validation in independent longitudinal samples of boys and girls. *Sports Medicine*, 48(1), 221–236. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0750-y>
- Lang, R. M., Bierig, M., Devereux, R. B., Flachskampf, F. A., Foster, E., Pellikka, P. A., Picard, M. H., Roman, M. J., Seward, J., Shanewise, J. S., Solomon, S. D., Spencer, K. T., St John Sutton, M., & Stewart, W. J. (2005). Recommendations for chamber quantification: A report from the American Society of Echocardiography's guidelines and standards committee and the Chamber Quantification Writing Group, developed in conjunction with the European Association of Echocardiography. *Journal of the American Society of Echocardiography*, 18(12), 1440-1463. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2005.10.005>
- Léger, L. A., Mercier, D., Gadoury, C., & Lambert, J. (1988). The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of Sports Sciences*, 6(2), 93-101. <https://doi.org/10.1080/02640418808729800>
- Lohman, T., Roche, A., & Martorell, R. (1988). *Anthropometric Standardization Reference Manual*. Human Kinetics. <https://doi.org/10.1080/00140138808966796>
- Lombardo, M. P., & Otieno, S. (2021). The associations between digit ratio, aerobic fitness, physical skills, and overall physical fitness of elite youth distance runners. *American Journal of Human Biology*, 33(1). <https://doi.org/10.1002/ajhb.23448>
- Longman, D., Stock, J. T., & Wells, J. C. K. (2011). Digit ratio (2D:4D) and rowing ergometer performance in males and females. *American Journal of Physical Anthropology*, 144(3), 337–341. <https://doi.org/10.1002/ajpa.21407>

- Manning, J. (2002). *Digit ratio: a pointer to fertility, behavior, and health*. Rutgers University Press.
- Manning, J., & Fink, B. (2018). Digit Ratio. *Encyclopedia of Evolutionary Psychological Science* (pp. 1–12). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16999-6_3829-1
- Manning, J., & Hill, M. R. (2009). Digit ratio (2D:4D) and sprinting speed in boys. *American Journal of Human Biology*, 21(2), 210–213. <https://doi.org/10.1002/ajhb.20855>
- Manning, J., Morris, L., & Caswell, N. (2007). Endurance running and digit ratio (2D:4D): Implications for fetal testosterone effects on running speed and vascular health. *American Journal of Human Biology*, 19(3), 416–421. <https://doi.org/10.1002/ajhb.20603>
- Manning, J., Scutt, D., Wilson, J., & Lewis-Jones, D. I. (1998). The ratio of 2nd to 4th digit length: a predictor of sperm numbers and concentrations of testosterone, luteinizing hormone and oestrogen. *Human Reproduction*, 13(11), 3000–3004. <https://doi.org/10.1093/humrep/13.11.3000>
- Manning, J., Caswell, N., Fink, B., & Neave, N. (2005). Photocopies yield lower digit ratios (2D:4D) than direct finger measurements. *Archives of Sexual Behavior*, 34(3), 329–333. <https://doi.org/10.1007/s10508-005-3121-y>
- Manning, J., Morris, L., & Caswell, N. (2007). Endurance running and digit ratio (2D:4D): Implications for fetal testosterone effects on running speed and vascular health. *American Journal of Human Biology*, 19(3), 416–421. <https://doi.org/10.1002/ajhb.20603>
- Manning, J., & Taylor, R. P. (2001). Second to fourth digit ratio and male ability in sport: Implications for sexual selection in humans. *Evolution and Human Behavior*, 22(1). [https://doi.org/10.1016/S1090-5138\(00\)00063-5](https://doi.org/10.1016/S1090-5138(00)00063-5)
- Nobari, H., Alves, A. R., Clemente, F. M., & Pérez-Gómez, J. (2021). Influence of 2D:4D ratio on fitness parameters and accumulated training load in elite youth soccer players. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 13(1), Article 54. <https://doi.org/10.1186/s13102-021-00354-5>
- Pasanen, B. E., Tomkinson, J. M., Dufner, T. J., Park, C. W., Fitzgerald, J. S., & Tomkinson, G. R. (2022). The relationship between digit ratio (2D:4D) and muscular fitness: A systematic review and meta-analysis. *American Journal of Human Biology*, 34(3), Article e23657. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23657>

- Perciavalle, V., Di Corrado, D., Petralia, M. C., Gurrise, L., Massimino, S., & Coco, M. (2013). The second-to-fourth digit ratio correlates with aggressive behavior in professional soccer players. *Molecular Medicine Reports*, 7(6), 1733–1738. <https://doi.org/10.3892/mmr.2013.1426>
- Porti, J. & Mori, I. (1987). Hockey total. Ayuntamiento de Oviedo. Oviedo: Consejería de Cultura.
- Ribeiro, E., Neave, N., Morais, R. N., & Manning, J. (2016). Direct versus indirect measurement of digit ratio (2D:4D): A critical review of the literature and new data. *Evolutionary Psychology*, 14(1). <https://doi.org/10.1177/1474704916632536>
- Tomkinson, J. M., & Tomkinson, G. R. (2017). Digit ratio (2D:4D) and muscular strength in adolescent boys. *Early Human Development*, 113, 7–9. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2017.07.013>
- Trivers, R., Hopp, R., & Manning, J. (2013). A longitudinal study of digit ratio (2D:4D) and its relationships with adult running speed in Jamaicans. *Human Biology*, 85(4), 623–625. <https://doi.org/10.3378/027.085.0409>
- Valente-dos-Santos, J., Sherar, L., Coelho-e-Silva, M. J., Pereira, J. R., Vaz, V., Cupido-dos-Santos, A., Baxter-Jones, A., Visscher, C., Elferink-Gemser, M. T., & Malina, R. M. (2013). Allometric scaling of peak oxygen uptake in male roller hockey players under 17 years old. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 38(4), 390-394. <https://doi.org/10.1139/apnm-2012-0178>
- Valla, J. M., & Ceci, S. J. (2011). Can sex differences in science be tied to the long reach of prenatal hormones? Brain organization theory, digit ratio (2D/4D), and sex differences in preferences and cognition. *Perspectives on Psychological Science*, 6(2), 134–146. <https://doi.org/10.1177/1745691611400236>
- Vaz, V. (2011). Especialização Desportiva em Jovens Hoquitas Masculinos. Estudo do jovem atleta, do processo de selecção e da estrutura do rendimento. Universidade de Coimbra. Disponível em <https://estudogeral.sib.uc.pt/jspui/handle/10316/17926>
- Voracek, M., Reimer, B., & Dressler, S. G. (2010). Digit ratio (2D:4D) predicts sporting success among female fencers independent from physical, experience, and personality factors. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 20(6), 853–860. <https://doi.org/10.1111/J.1600-0838.2009.01031.X>
- Yagüe, P. L., Del Valle, M. E., Egocheaga, J., Linnamo, V., & Fernández, A. (2013). The competitive demands of elite male rink hockey. *Biology of Sport*, 30(3), 173-177. <https://doi.org/10.5604/20831862.1059211>

Zheng, Z., & Cohn, M. J. (2011). Developmental basis of sexually dimorphic digit ratios. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(39), 16289–16294. <https://doi.org/10.1073/pnas.1108312108>

Capítulo 4

4. Discussão geral

O principal propósito desta discussão geral é analisar as principais descobertas dos quatro estudos sobre a viabilidade do rácio 2D:4D como biomarcador putativo para prever o desempenho de atletas em diferentes modalidades desportivas, sintetizando os principais resultados e refletindo sobre as implicações futuras e aplicações práticas.

4.1. Rácio 2D:4D em atletas e não atletas

O **Estudo 1**, *“Associação entre o rácio 2D:4D e o desempenho desportivo em atletas. Uma revisão sistemática e meta-análise”*, indicam diferenças no rácio 2D:4D entre homens e mulheres, sendo que os homens apresentam, em média, valores inferiores aos das mulheres. Adicionalmente, ao comparar os rácios entre atletas e não atletas, verificou-se que os atletas apresentam, de forma consistente, um rácio 2D:4D inferior ao dos não atletas, independentemente do sexo (Bennett et al., 2010; Güler, 2018; L. P. Kilduff et al., 2011; Voracek et al., 2010). Quando comparados atletas locais com atletas nacionais ou de elite, observou-se que os atletas de elite apresentam rácios menores aos dos atletas locais.

Para compreender melhor o rácio 2D:4D, e consecutivamente os demais rácios, foi necessário estabelecer uma base sólida de informações centrada no jovem atleta, com especial ênfase na antropometria da mão esquerda, em particular no comprimento dos dedos e nos respetivos rácios – uma vez que há escassez de literatura sobre o tema, apesar da grande importância destes parâmetros em modalidades desportivas que exigem força, precisão e controle dos movimentos (Manning et al., 2014b).

Assim, o **Estudo 2** *“Dígitos da Mão e Descritores de Tamanho Corporal no Jovem Atleta: O Efeito da Idade”*, consistiu numa análise descritiva do tamanho corporal, do comprimento dos dedos da mão esquerda e dos respetivos rácios, realizada num conjunto de 434 jovens atletas do sexo masculino, com idades compreendidas entre 8,7 e 17 anos, selecionados em clubes portugueses e praticantes de andebol (n=21), basquetebol (n=121), futebol (n=70), hóquei em patins (n=71), natação (n=59) e ténis (n=92). Adicionalmente, exploraram-se as interações entre os rácios dos dedos, a estatura e a massa corporal, considerando – ou não – o efeito da idade cronológica. Os resultados relativos à altura e ao peso encontraram-se dentro da média esperada (Coelho-E-Silva et

al., 2012; Valente-dos-Santos et al., 2013), e o comprimento dos dedos da mão esquerda está, em geral, de acordo com a literatura existente, exceto o 2º e 4º dedos. Esta associação pode ser explicada pelo fato de que o comprimento dos dedos, nomeadamente o 2º e o 4º, está relacionada com a quantidade de esteróides sexuais a que o embrião foi exposto (Manning et al., 2002). Manning et al. (2002) sugere que o aumento do comprimento do 4d no sexo masculino advém da exposição do embrião a elevados níveis de testosterona. Inversamente, com a exposição do embrião a elevados níveis de estrogénio, o 2D tenderá a crescer mais, ou de igual forma ao 4D.

Neste estudo verificámos que o comprimento do 2D ($16,0 \pm 0,07$ cm) foi ligeiramente superior ao do 4D ($15,7 \pm 0,06$ cm), um resultado que se distingue ligeiramente dos valores geralmente reportados na literatura (Manning et al., 2000a). Podemos atribuir essa diferença ao facto de a metodologia utilizada na recolha do comprimento dos dedos ter sido baseada em radiografias e a amostra ser composta por jovens, uma fase em que as mudanças biológicas são constantes (Kozieł & Malina, 2018a; Malina, 2014). Durante a ontogenia os dedos 2D e 4D crescem significativamente e o dimorfismo sexual nos seus comprimentos varia (Manning & Fink, 2018b). Observa-se que antes dos 13 anos não há diferenças marcantes entre os sexos; no entanto, após essa idade, os dedos dos jovens do sexo masculino tornam-se progressivamente mais longos do que os das jovens do sexo feminino (Manning & Fink, 2018). Verifica-se também que os rácios não se modificam com a estatura, a massa corporal ou a idade cronológica, corroborando a literatura que indica que a diferença entre o 2d e o 4d está presente aos dois anos de idade e se mantém inalterada até à fase adulta, sem qualquer interferência da idade cronológica (Manning, 2002; Manning & Fink, 2018b). Este estudo remete para a possibilidade de que os restantes rácios também se mantêm inalterados, após a sua definição.

Os resultados do **Estudo 3** “*Relação entre a proporção de dígitos no futebol juvenil: comparações entre jogadores de elite e não-elite*” estão em conformidade com os resultados do **Estudo 1**. Este estudo analisa 70 jogadores de futebol masculino, caucasianos, com a idade média de $15,10 \pm 0,63$ anos e nacionalidade portuguesa. Os participantes foram divididos em dois grupos: atletas que competem a nível regional e nacional e atletas que jogam a nível local. Os resultados mostram que os atletas de elite regional apresentaram rácios 2D:4D mais baixos ($1,01 \pm 0,03$) do que os atletas do grupo

local ($1,02 \pm 0,02$), com uma magnitude de efeito moderada. Estes resultados reforçam a robustez da evidência acumulada nesta área de investigação, sugerindo que um rácio 2D:4D mais baixo pode estar associado a uma maior exposição à testosterona pré-natal (Manning et al., 2002). Este efeito pode estar relacionado com o facto de o quarto dedo ter tendência a ser mais comprido em indivíduos com maior exposição à testosterona durante o desenvolvimento embrionário, devido à maior presença de recetores de androgénios, que são ativados por esta hormona no período fetal (Fink et al., 2004; Voracek et al., 2005). É conhecido que a testosterona intrauterina está associada a um maior desenvolvimento de características físicas nos sistemas cardiorrespiratório, muscular e comportamental (Manning & Fink, 2018b), que são conhecidas por promover o desempenho atlético.

4.2. Rácio 2D:4D e capacidade aeróbia

A literatura existente, juntamente com o **Estudo 1** e o **Estudo 4**, intitulado "*Rácio 2D:4D como preditor de variabilidade interindividual em indicadores de antropometria e aptidão física em jogadores adolescentes de hóquei em patins*" indicam que um rácio 2D:4D mais baixo está associado a uma melhor capacidade aeróbia e a um $VO_{2máx.}$ superior. O **Estudo 4** identifica uma relação significativa entre um rácio 2D:4D menor e uma maior capacidade aeróbia, onde os atletas com um rácio 2D:4D mais baixo apresentaram maior velocidade, percorrendo 25 metros em menos tempo no teste de corrida (2D:4D baixo = 3,98 s vs. 2D:4D alto = 4,17 s), demonstraram resistência física superior, percorrendo uma distância média de 1766 metros no teste de vaivém de 20 metros, em comparação com os 1557 metros registados pelos atletas com rácios 2D:4D mais elevados, e também apresentaram um VO_{2pico} mais elevado (2D:4D baixo = 4,01 $L \cdot min^{-1}$ vs. 2D:4D alto = 3,87 $L \cdot min^{-1}$). Estes resultados evidenciam que o rácio 2D:4D pode estar associado a vantagens fisiológicas, como uma resposta neuromuscular mais rápida e a um melhor desempenho cardiovascular e respiratório. Atletas com 2D:4D mais baixos podem ter sido expostos a níveis mais elevados de testosterona durante o desenvolvimento pré-natal, o que pode ter contribuído para o desenvolvimento de um sistema cardiovascular mais eficiente, refletindo-se no aumento da massa muscular cardíaca, permitindo um bombeamento de sangue mais vigoroso e eficiente para o organismo (Zdravkovic et al., 2010). Adicionalmente, níveis elevados de testosterona pré-natal podem melhorar a função do músculo liso nos capilares, promovendo a

vasodilatação e facilitando a circulação sanguínea (Gebara et al., 2002), o que é crucial durante o exercício. No sistema respiratório a testosterona pré-natal pode potenciar a força dos músculos respiratórios como o diafragma, o principal músculo inspiratório, contribuindo para uma capacidade pulmonar aprimorada e uma eficiência respiratória superior. Além disso, a testosterona estimula a produção de hemoglobina através do aumento da eritropoietina, uma hormona responsável pela formação de glóbulos vermelhos na medula óssea (Gebara et al., 2002; Hammes & Levin, 2019). Este aumento na produção de hemoglobina resulta numa maior capacidade do sangue para transportar oxigénio dos pulmões para os tecidos corporais, melhorando a oxigenação muscular e o desempenho aeróbio (Hammes & Levin, 2019).

Este desenvolvimento otimizado dos sistemas cardiovascular e respiratório proporciona vantagens evidentes em contextos de exercício físico, especialmente em modalidades de resistência. A capacidade de fornecer oxigénio de forma eficiente aos tecidos durante o exercício não só melhora a performance aeróbia, como também contribui para um desempenho físico superior, tendo um impacto positivo significativo no desempenho individual dos atletas, aumentando assim as suas probabilidades de serem selecionados para equipas de nível superior.

4.3. Rácio 2D:4D e força muscular

No que diz respeito às associações entre o rácio 2D:4D e as variáveis de força muscular, os resultados revelam-se frequentemente inconsistentes, tanto em atletas como em não-atletas. A revisão sistemática da literatura de Pasanen et al. (2022) e o **Estudo 1** indicam uma associação fraca entre um rácio 2D:4D menor e o aumento da força muscular. Essa relação pode ser explicada pela exposição à testosterona pré-natal e pelo desenvolvimento do sistema músculo-esquelético. Estudos indicam que a testosterona pré-natal regula genes associados ao crescimento e desenvolvimento do tecido musculoesquelético (Zheng & Cohn, 2011a) e favorece o aumento da densidade muscular e da capacidade de força (Manning & Fink, 2018b). No entanto, existem estudos que não corroboram essa relação (Ramos Bermúdez et al., 2020; Serpell & Cook, 2022; Yurdakul et al., 2018), evidenciando a ausência de associações, como demonstrado no **Estudo 4**. Tais discrepâncias podem ser atribuídas a diferenças metodológicas, nomeadamente: i) características da amostra: ampla faixa etária, diversas origens étnicas, atletas de múltiplas modalidades desportivas e não atletas, o que pode diluir os efeitos observados

em grupos mais homogéneos, como atletas de alto rendimento; ii) diversidade dos testes utilizados: a utilização de diferentes protocolos de avaliação da força muscular (por exemplo: força de preensão manual, força isométrica, força dinâmica) pode influenciar os resultados e dificultar a comparação entre estudos e iii) dimensão das amostras: amostras pequenas (por exemplo: $n=13$, (Serpell & Cook, 2022) e $n=40$ (Koç et al., 2017) podem reduzir o poder estatístico e limitar a capacidade de detetar correlações significativas.

4.4. Limitações

Esta tese constitui um avanço relevante na elucidação da relação entre o rácio 2D:4D e o desempenho desportivo. Contudo, diversas limitações devem ser reconhecidas a fim de situar os resultados no contexto adequado e fornecer diretrizes para investigações futuras.

- i) Os estudos apresentados nesta tese foram realizados com populações específicas, nomeadamente jovens atletas de diversas modalidades, todos de nacionalidade portuguesa. Embora estes estudos forneçam *insights* valiosos, os resultados podem não ser diretamente aplicáveis a atletas de outras nacionalidades ou grupos étnicos, devido a possíveis diferenças culturais, genéticas ou ambientais que influenciam o desempenho desportivo.
- ii) Embora a avaliação metodológica do comprimento dos dedos tenha sido realizada de forma indireta, por meio de radiografias, a medição dos dedos foi efetuada considerando apenas os componentes ósseos, excluindo os tecidos moles. Especificamente, as medições abrangeram metacarpos, falange proximal, falange medial e falange distal.
- iii) A presente tese enfrentou dificuldades na comparação de resultados devido a diferenças metodológicas entre os estudos analisados. Variações nos protocolos, nos instrumentos utilizados e nas definições de variáveis dificultaram a comparação direta dos resultados, comprometendo a capacidade de generalização dos mesmos.

4.5. Orientações para futuras investigações

Quando pesquisamos o rácio 2D:4D enquanto biomarcador da testosterona intrauterina e a sua relação com o desempenho desportivo, os estudos existentes na literatura são quase sempre transversais, incluindo os estudos desta tese 2, 3 e 4, os quais recolhem informações de uma amostra em um único ponto no tempo. Para futuras investigações é importante a realização de estudos longitudinais ou estudos longitudinais mistos. Estudos desta natureza são relevantes, pois permitirão avaliar a estabilidade do rácio 2D:4D ao longo do tempo e validar a sua utilidade como um biomarcador fiável. Para além disso, a recolha de dados em múltiplos momentos do desenvolvimento infantil e juvenil possibilitará determinar se ocorrem alterações significativas no rácio 2D:4D, contribuindo para uma melhor compreensão dos fatores biológicos e ambientais que influenciam esta medida. Inclusivamente, esta beneficiaria da utilização de *scanners* de alta resolução para a digitalização das mãos, assegurando uma captação detalhada e precisa das imagens. Paralelamente, a integração de *software* especializado permitirá uma análise mais padronizada, reduzindo a variabilidade entre observadores e melhorando a fiabilidade dos resultados.

Do mesmo modo, a implementação de protocolos rigorosos, incluindo a padronização da posição das mãos e das condições de iluminação, contribuirá para minimizar distorções, garantindo medições mais consistentes e facilitando a comparabilidade entre estudos. Juntamente com a recolha dos dados do rácio 2D:4D a estimativa dos níveis de testosterona fetal através da análise do líquido amniótico será essencial para estabelecer uma correlação mais direta entre a exposição hormonal intrauterina e o desenvolvimento dos dedos. A amniocentese, ao permitir a quantificação precisa da testosterona no ambiente fetal, proporciona uma base sólida para investigar o impacto dessa exposição na morfologia digital. Para uma compreensão mais aprofundada dos fatores biológicos que influenciam o rácio 2D:4D é essencial considerar não apenas a componente hormonal, mas também a genética. A análise do gene Recetor de Androgénio, frequentemente abordada em estudos (Zhang et al., 2019), permite avaliar a relação entre a sensibilidade à testosterona e o número de repetições CAG. Será de igual modo importante incluir outros genes envolvidos no metabolismo da testosterona, como o SRD5A2 e o CYP19A1. O gene SRD5A2 desempenha um papel fundamental na conversão da testosterona em di-hidrotestosterona, uma hormona biologicamente mais

potente, com impacto direto na diferenciação sexual e no desenvolvimento de estruturas corporais (Wilson & Grand Rounds, 1992). Alterações na atividade deste gene podem influenciar a disponibilidade de DHT durante a gestação, modificando a forma como a testosterona regula o crescimento fetal e, consequentemente, afetando a variabilidade do rácio 2D:4D (Wilson & Grand Rounds, 1992). Por outro lado, o gene CYP19A1 está envolvido na conversão da testosterona em estrogénio, uma hormona essencial para o desenvolvimento ósseo. A expressão deste gene pode influenciar a morfologia digital, uma vez que a proporção entre testosterona e estrogénio no ambiente fetal pode modular o comprimento relativo dos dedos (Hathi et al., 2022). Outro ponto importante em futuras investigações será a inclusão de informações contextuais sobre a carga e qualidade do treino contribuindo para uma análise mais aprofundada dos fatores que influenciam a variabilidade inter-individual.

4.6. Aplicações práticas

Do ponto de vista prático, o rácio 2D:4D pode ser utilizado como uma ferramenta complementar nos treinos de captação de jovens atletas. Quando combinado com outros indicadores de aptidão física, como testes de velocidade, força, resistência e agilidade, pode fornecer aos treinadores uma avaliação mais completa do potencial atlético de cada jovem. Dessa forma, a seleção dos atletas para integrar nas equipas torna-se mais fundamentada, permitindo uma melhor identificação de talentos e uma otimização do desenvolvimento desportivo. A medição dos dedos 2D e 4D deve ser realizada preferencialmente de forma indireta, utilizando *scanners* de alta resolução que assegurem uma captação detalhada e precisa das imagens. Posteriormente, a utilização de *software* especializado permitirá uma análise mais padronizada, melhorando a fiabilidade dos resultados. Caso não seja possível recorrer a este método devido ao custo inerente e ao maior tempo requerido, a avaliação pode ser realizada de forma direta (desde a base do dedo até à extremidade distal), com o auxílio de uma régua ou paquímetro, permitindo posteriormente o cálculo do rácio 2D:4D.

4.7. Referencias bibliográficas

- Bennett, M., Manning, J., Cook, C. J., & Kilduff, L. P. (2010). Digit ratio (2D:4D) and performance in elite rugby players. *Journal of Sports Sciences*, 28(13), 1415–1421. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.510143>
- Coelho-E-Silva, M. J., Vaz, V., Simões, F., Carvalho, H. M., Valente-Dos-Santos, J., Figueiredo, A. J., Pereira, V., Vaeyens, R., Philippaerts, R., Elferink-Gemser, M. T., & Malina, R. M. (2012). Sport selection in under-17 male roller hockey. *Journal of Sports Sciences*, 30(16). <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.709262>
- Fink, B., Manning, J., & Neave, N. (2004). Second to fourth digit ratio and the “big five” personality factors. *Personality and Individual Differences*, 37(3), 495–503. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2003.09.018>
- Gebara, O. C. E., Vieira, N. W., Meyer, J. W., Luisa, A., Calich, G., Tai, E. J., Pierri, H., Wajngarten, M., Aldrighi, J. M., & Paulo, S. (2002). Efeitos cardiovasculares da testosterona. *Arq Bras Cardio*, 79(6), 644–649.
- Güler, D. (2018). The relation between 2d:4d finger length ve ratio and sport performances of amateur basketball players. *European Journal of Physical Education and Sport Science*, 4(3). <https://doi.org/10.5281/zenodo.1221408>
- Hammes, S. R., & Levin, E. R. (2019). Impact of estrogens in males and androgens in females. *Journal of Clinical Investigation*, 129 (5), 1818–1826. <https://doi.org/10.1172/JCI125755>
- Hathi, D., Goswami, S., Sengupta, N., & Baidya, A. (2022). A novel homozygous CYP19A1 gene mutation causing aromatase deficiency. *Cureus*, 14(1), e22059. <https://doi.org/10.7759/cureus.22059>
- Kilduff, L. P., Cook, C. J., & Manning, J. (2011). Digit ratio (2D:4D) and performance in male surfers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(11), 3175–3180. www.nsca-jscr.org
- Koç, H., Aksoy, C., Eskici, G., & Koroğlu, Y. (2017). Analysis of the relationship between 2d:4d finger length ratios and leg strength among athletes. *Journal of Physical Education and Sport*, 17(S3), 1039-1043. <https://doi.org/10.7752/jpes.2017.s3150>

- Kozieł, S. M., & Malina, R. M. (2018a). Modified Maturity Offset Prediction Equations: Validation in Independent Longitudinal Samples of Boys and Girls. *Sports Medicine*, 48(1), 221–236. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0750-y>
- Malina, R. M. (2014). Top 10 research questions related to growth and maturation of relevance to physical activity, performance, and fitness. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 85(2), 157–173. <https://doi.org/10.1080/02701367.2014.897592>
- Manning, J. (2002). *Digit ratio: a pointer to fertility, behavior, and health*. Rutgers University Press.
- Manning, J., Bundred, P. E., & Fink, B. (2002). The ratio of 2nd to 4th digit length: a proxy for transactivation activity of the androgen receptor gene? *Medical Hypotheses*, 59, 334–336. [https://doi.org/10.1016/S0306-9877\(02\)00181-0](https://doi.org/10.1016/S0306-9877(02)00181-0)
- Manning, J., & Fink, B. (2018). Sexual dimorphism in the ontogeny of second (2D) and fourth (4D) digit lengths, and digit ratio (2D:4D). *American Journal of Human Biology*, 30(4), e23138. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23138>
- Manning, J., Kilduff, L., Cook, C., Crewther, B., & Fink, B. (2014). Digit ratio (2D:4D): A biomarker for prenatal sex steroids and adult sex steroids in challenge situations. *Frontiers in Endocrinology*, 5, Article 9. <https://doi.org/10.3389/fendo.2014.00009>
- Manning, J., Trivers, R. L., Thornhill, R., & Singh, D. (2000). The 2nd:4th digit ratio and asymmetry of hand performance in Jamaican children. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 5(2), 121–132.
- Pasanen, B. E., Tomkinson, J. M., Dufner, T. J., Park, C. W., Fitzgerald, J. S., & Tomkinson, G. R. (2022). The relationship between digit ratio (2D:4D) and muscular fitness: A systematic review and meta-analysis. *American Journal of Human Biology*, 34(3), Article e23657. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23657>
- Ramos Bermúdez, S., García, A. M., Ayala, C. F., & Aguirre Loaiza, H. H. (2020). Índice de longitud digital 2D:4D en deportes de pelota. *Retos*, 39, 78257. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i39.78257>
- Serpell, B. G., & Cook, C. J. (2022). Exploring finger digit ratios (2D:4D) in surgeons, professional rugby players, and political journalists to form a directional hypothesis: Could finger length predict attention and focus? *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 16, Article 873129. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2022.873129>
- Valente-dos-Santos, J., Sherar, L., Coelho-e-Silva, M. J., Pereira, J. R., Vaz, V., Cupido-dos-Santos, A., Baxter-Jones, A., Visscher, C., Elferink-Gemser, M. T., & Malina, R. M. (2013). Allometric scaling of peak oxygen uptake in male roller hockey

- players under 17 years old. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 38(4), 390-394. <https://doi.org/10.1139/apnm-2012-0178>
- Voracek, M., Manning, J. T., & Ponocny, I. (2005). Digit ratio (2D:4D) in homosexual and heterosexual men from Austria. *Archives of Sexual Behavior*, 34(3), 335–340. <https://doi.org/10.1007/s10508-005-3122-x>
- Voracek, M., Reimer, B., & Dressler, S. G. (2010). Digit ratio (2D:4D) predicts sporting success among female fencers independent from physical, experience, and personality factors. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 20(6), 853–860. <https://doi.org/10.1111/J.1600-0838.2009.01031.x>
- Wilson, J. D. (1992). Androgen action and steroid 5 α -reductase 2 deficiency. *Endocrine Reviews*, 13(3), 278–298. <https://doi.org/10.1210/edrv-13-3-278>
- Yurdakul, H. Ö., Özen, G., & Koç, H. (2018). The relationship between digit ratio (2D:4D), anaerobic power and athletic ability of young athletes. *Universal Journal of Educational Research*, 6(12), 2850-2855. <https://doi.org/10.13189/ujer.2018.061226>
- Zdravkovic, M., Perunicic, J., Krotin, M., Ristic, M., Vukomanovic, V., Soldatovic, I., & Zdravkovic, D. (2010). Echocardiographic study of early left ventricular remodeling in highly trained preadolescent footballers. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(6), 602-606. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2010.03.005>
- Zhang, K., Yang, X., Zhang, M., Wang, C., Fang, P., Xue, M., Zhao, J., Gao, X., Pan, R., & Gong, P. (2019). Revisiting the relationships of 2D:4D with androgen receptor (AR) gene and current testosterone levels: Replication study and meta-analyses. *Journal of Neuroscience Research*, 98(2), 353–370. <https://doi.org/10.1002/jnr.24502>
- Zheng, Z., & Cohn, M. J. (2011). Developmental basis of sexually dimorphic digit ratios. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(39), 16289–16294. <https://doi.org/10.1073/pnas.1108312108>

Conclusão

1. Conclusão

Esta tese investiga como o rácio 2D:4D é percecionado pela comunidade científica e analisa o seu comportamento num grupo de jovens atletas de diferentes modalidades. Além de identificar lacunas existentes no conhecimento, destaca a possibilidade de utilizar o rácio 2D:4D como um biomarcador para identificar jovens talentos com potencial para se destacar no desporto de alta competição. A seguir resumem-se as principais contribuições deste trabalho:

- i) O rácio 2D:4D no sexo masculino é, em média, inferior ao do sexo feminino.
- ii) Os atletas apresentam consistentemente um rácio 2D:4D inferior ao dos não atletas, independentemente do sexo.
- iii) O rácio 2D:4D, bem como os demais rácios, não é afetado pela estatura, massa corporal ou idade cronológica.
- iv) O rácio 2D:4D é menor em jovens atletas de elite regional em comparação com atletas locais.
- v) Atletas com um rácio 2D:4D mais baixo demonstram maior eficácia no teste de corrida, apresentando tempos inferiores, e no teste de velocidade, percorrendo menores distâncias.

Em conclusão, esta tese representa um avanço significativo na compreensão da complexa relação entre o rácio 2D:4D e o desempenho desportivo em jovens atletas. Ao conectar o conhecimento teórico a aplicações práticas esta medida pode vir a ser uma ferramenta de fácil utilização para preparadores físicos e treinadores na captação e desenvolvimento de jovens talentos em diversas modalidades desportivas.

Mais do que simplesmente explorar as relações entre o rácio 2D:4D e diversas capacidades físicas e comportamentais, este trabalho proporcionou-me a oportunidade de refletir sobre o verdadeiro significado de produzir ciência de qualidade. Compreendi que a investigação científica exige mais do que a mera recolha e análise de dados – requer um compromisso ético com a verdade, uma análise crítica das limitações do nosso trabalho e uma disposição para aceitar as incertezas inerentes ao processo científico. Embora esta tese de doutoramento tenha sido desafiante, acredito que contribui para um melhor entendimento do papel do rácio 2D:4D na performance desportiva e nas características

biológicas humanas constituindo, assim, um avanço na construção de um corpo de conhecimento mais fiável e útil para a comunidade científica e para a sociedade.

Referências Bibliográficas

1. Referências Bibliográficas

- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Magnusson, S. P., Larsson, B., & Dyhre-Poulsen, P. (1998). A new concept for isokinetic hamstring: Quadriceps muscle strength ratio. *American Journal of Sports Medicine*, 26(2), 231-237. <https://doi.org/10.1177/03635465980260021201>
- Abbott, A., Button, C., Pepping, G.-J., & Collins, D. (2005). Unnatural selection: Talent identification and development in sport. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, 9(1), 61–88. PMID: 15629068
- Acar, H., & Tutkun, E. (2018). Analysis of the 2D:4D Ratios of National and Amateur Football Players. In *International Journal of Applied Exercise Physiology* (Vol. 8, Issue 1). www.ijaep.com
- Alonso, J., di Paolo, R., Ponti, G., & Sartarelli, M. (2018). Facts and misconceptions about 2d:4d, social and risk preferences. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 12. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2018.00022>
- Acar, H., & Eler, N. (2018). The Relationship of digit ratio (2D:4D) with cerebral lateralization and grip strength in elite swimmers. *Journal of Education and Training Studies*, 6(4), 84-89. <https://doi.org/10.11114/jets.v6i4.3040>
- Armstrong, N., Welsman, J. R., & Kirby, B. J. (1997). Performance on the Wingate anaerobic test and maturation. *Pediatric Exercise Science*, 9(3), 253-261. <https://doi.org/10.1123/pes.9.3.253>
- Attinà, A. N., Nicotra, R., Massimino, S., Maugeri, A., & Petralia, M. C. (2013). Emotion and performance in sport: Comparison between sportswomen. *Acta Medica Mediterranea*, 29(1), 135-138.
- Azam, Z., Zainuddin, Z. A., Ibrahim, H., Hashim, A. H. M., Baki, M. H., & Noor, M. S. H. M. (2019). Prenatal testosterone and sporting success among Malaysian rugby athletes. *Indian Journal of Public Health Research and Development*, 10(4), 1177-1181. <https://doi.org/10.5958/0976-5506.2019.00923.9>
- Baltzopoulos, V., Williams, J. G., & Brodie, D. A. (1991). Sources of error in isokinetic dynamometry: effects of visual feedback on maximum torque. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 13(3), 138–142. www.jospt.org
- Baker, J., Kungl, A. M., Pabst, J., Strauß, B., Büsch, D., & Schorer, J. (2013). Your fate is in your hands? Handedness, digit ratio (2D:4D), and selection to a national talent

- development system. *Laterality*, 18(6), 710–718.
<https://doi.org/10.1080/1357650X.2012.755992>
- Barracough, A. S., Till, K., Kerr, A., & Emmonds, S. (2022). Methodological approaches to talent identification in team sports: A narrative review. *Sports*, 10(6), Article 81. <https://doi.org/10.3390/sports10060081>
- Bennett, M., Manning, J., Cook, C. J., & Kilduff, L. P. (2010). Digit ratio (2D:4D) and performance in elite rugby players. *Journal of Sports Sciences*, 28(13), 1415–1421. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.510143>
- Bescós, R., Esteve, M., Porta, J., Mateu, M., Irurtia, A., & Voracek, M. (2009). Prenatal programming of sporting success: Associations of digit ratio (2D:4D), a putative marker for prenatal androgen action, with world rankings in female fencers. *Journal of Sports Sciences*, 27(6), 625–632. <https://doi.org/10.1080/02640410802707029>
- Boff, S. R. (2010). Esteróides anabólicos e exercício: Ação e efeitos colaterais. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*, 18(1), 81–88. <https://doi.org/10.18511/0103-1716/rbcm.v18n1p81-88>
- Bohannon, R. W. (2003). Grip strength: A summary of studies comparing dominant and nondominant limb measurements. *Perceptual and Motor Skills*, 96(3 1), 728–730. <https://doi.org/10.2466/pms.2003.96.3.728>
- Bohme, M. (2000). O treinamento a longo prazo e o processo de detecção, seleção e promoção de talentos esportivos. *Revista Brasileira de Ciência do Esporte*, 21(2), 91–108.
- Bohme, M. (2004). *Desporto para crianças e jovens: Razões e finalidades* (1ª ed.). Editora UFRGS. <http://www.editora.ufrgs.br>
- Bohme, M. (2007). O tema talento esportivo na ciência do esporte. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*, 15(1), 119–126.
- Boscolo Del Vecchio, F., Del Vecchio, A. H. M., Gonçalves, A., Franchini, E., & Padovani, C. R. (2011). The canonical correlation between the biological markers of performance and physical fitness in high level judo athletes. *Physical Education and Sport*, 9(2).
- Bourdon, P. (2012). Physiological tests for elite athletes. *Australian Institute of Sport* (Ed.), *Physiological tests for elite athletes* (2nd ed.). Human Kinetics.
- Brown, W. M., Finn, C. J., & Breedlove, S. M. (2002). Sexual dimorphism in digit-length ratios of laboratory mice. In *Anatomical Record* (Vol. 267, Issue 3, pp. 231–234). <https://doi.org/10.1002/ar.10108>

- Brown, W. M., Hines, M., Fane, B. A., & Breedlove, S. M. (2002). Masculinized finger length patterns in human males and females with congenital adrenal hyperplasia. *Hormones and Behavior*, 42(4), 380–386. <https://doi.org/10.1006/hbeh.2002.1830>
- Butovskaya, M., Burkova, V., Karelin, D., & Filatova, V. (2019). The association between 2D:4D ratio and aggression in children and adolescents: Cross-cultural and gender differences. *Early Human Development*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2019.07.006>
- Calò, C. M., Sanna, S., Piras, I. S., Pavan, P., & Vona, G. (2009). Body composition of Italian female hockey players. *Biology of Sport*, 26(1). <https://doi.org/10.5604/20831862.890172>
- Camarco, N. F., Neto, I. V. de S., Ribeiro, E., & Andrade, A. J. M. (2022). Anthropometrics, performance, and psychological outcomes in mixed martial arts athletes. *Biology*, 11(8), Article 1147. <https://doi.org/10.3390/biology11081147>
- Campbell, A., & Muncer, S. (2008). Intent to harm or injure? Gender and the expression of anger. *Aggressive Behavior*, 34(3), 282–293. <https://doi.org/10.1002/ab.20228>
- Carter JEL, Heath BH (1990). *Somatotyping: development and applications*. Cambridge University Press
- Castanheira, J., Valente-Dos-Santos, J., Costa, D., Martinho, D., Fernandes, J., Duarte, J., Sousa, N., Vaz, V., Rama, L., Figueiredo, A., & Coelho-E-Silva, M. (2017). Cardiac remodeling indicators in adolescent athletes. *Revista da Associacao Médica Brasileira*, 63(5), 427–434. <https://doi.org/10.1590/1806-9282.63.05.427>
- Cattrall, F. R., Vollenhoven, B. J., & Weston, G. C. (2005). Anatomical evidence for in utero androgen exposure in women with polycystic ovary syndrome. *Fertility and Sterility*, 84(6), 1689–1692. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2005.05.061>
- Claessens, A.L., Beunen, G., & Malina, R.M. (2000). Anthropometry, physique, body composition and maturity. In N. Armstrong, & W. van Mechelen (Eds). *Paediatric Exercise Science and Medicine*, Oxford University Press.
- Chang, J. L., Doughty, S., Wade, J., & Lovern, M. B. (2006). Sexual dimorphism in the second-to-fourth digit length ratio in green anoles, *Anolis carolinensis* (Squamata: Polychrotidae), from the southeastern United States. *Canadian Journal of Zoology*, 84(10), 1489–1494. <https://doi.org/10.1139/Z06-144>
- Ceylan, L., küçük, H., ceylan, T., & Eliöz, M. (2022). The 2nd:4th digit ratio and shooting skill performance in basketball players. *Akdeniz Spor Bilimleri Dergisi*, 5(3). <https://doi.org/10.38021/asbid.1151853>

- Coco, M., Platania, S., Castellano, S., Sagone, E., Ramaci, T., Petralia, M. C., Agati, M., Massimino, S., Di Corrado, D., Guarnera, M., Pirrone, C., Costa, C., De Pasquale, C., Perciavalle, V., Cavallari, P., Di Nuovo, S., Di Gregorio, G., Perciavalle, V., & Buscemi, A. (2018). Memory, personality and blood lactate during a judo competition. *Sport Sciences for Health*, 14(3). <https://doi.org/10.1007/s11332-018-0458-x>
- Coelho-E-Silva, M. J., Vaz, V., Simões, F., Carvalho, H. M., Valente-Dos-Santos, J., Figueiredo, A. J., Pereira, V., Vaeyens, R., Philippaerts, R., Elferink-Gemser, M. T., & Malina, R. M. (2012). Sport selection in under-17 male roller hockey. *Journal of Sports Sciences*, 30(16), 1799-1806.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2012.709262>
- Cohen-Bendahan, C. C. C., Buitelaar, J. K., van Goozen, S. H. M., Orlebeke, J. F., & Cohen-Kettenis, P. T. (2005). Is there an effect of prenatal testosterone on aggression and other behavioral traits? A study comparing same-sex and opposite-sex twin girls. *Hormones and Behavior*, 47(2), 230–237.
<https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2004.10.006>
- Council of Europe. Committee for the Development of Sport. (1988). *Eurofit: Handbook for the Eurofit tests of physical fitness*. Committee of Experts on Sports Research, Council of Europe.
- Crewther, B. T., Pastuszak, A., Sadowska, D., Górski, M., & Cook, C. J. (2022). The digit ratio (2D:4D) and testosterone co-predict vertical jump performance in athletic boys: Evidence of organizational and activational effects of testosterone on physical fitness. *Physiology and Behavior*, 251, 113816.
<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2022.113816>
- de laCruz-Sánchez, E., García-Pallarés, J., Torres-Bonete, M. D., & López-Gullón, J. M. (2015). Can our fingers alone raise us up to the sky? Analysis of the digit ratio association with success in olympic wrestling. *Collegium Antropologicum*, 39(3).
- Deore, D. N. (2015). Comparative study of aerobic and anaerobic power in football players and control group. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences*, 14(5), 53–56. <https://doi.org/10.9790/0853-14565356>
- Devereux, R. B., Alonso, D. R., Lutas, E. M., Gottlieb, G. J., Campo, E., Sachs, I., & Reichek, N. (1986). Echocardiographic assessment of left ventricular hypertrophy: Comparison to necropsy findings. *The American Journal of Cardiology*, 57(6).
[https://doi.org/10.1016/0002-9149\(86\)90771-X](https://doi.org/10.1016/0002-9149(86)90771-X)

- Di Corrado, D., Buscemi, A., Magnano, P., Maldonato, N. M., Tusak, M., & Coco, M. (2021). Mood states and performance in elite canoe polo players: The mediating role of stress. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(9), 4494. <https://doi.org/10.3390/ijerph18094494>
- Di Corrado, D., & Perciavalle, V. (2013). Digit ratio (2D:4D) and mood states in elite female water polo players. *Sport Sciences for Health*, 9(1), 7-10. <https://doi.org/10.1007/s11332-013-0140-2>
- Disterhaupt, J. W., Fitzgerald, J. S., Rhoades, J. L., & Tomkinson, G. R. (2022). The relationship between the digit ratio (2D:4D) and vertical jump performance in young athletes. *American Journal of Human Biology*, 34(3). <https://doi.org/10.1002/ajhb.23679>
- Downs, S. H., & Black, N. (1998). The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and non-randomised studies of health care interventions. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 52(6), 377-384. <https://doi.org/10.1136/jech.52.6.377>
- Dyer, M., Short, S. E., Short, M., Manning, J., & Tomkinson, G. R. (2018). Relationships between the second to fourth digit ratio (2D:4D) and game-related statistics in semi-professional female basketball players. *American Journal of Human Biology*, 30(1), e23070. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23070>
- Eklund, E., Ekström, L., Thörngren, J. O., Ericsson, M., Berglund, B., & Hirschberg, A. L. (2020). Digit Ratio (2D:4D) and physical performance in female olympic athletes. *Frontiers in Endocrinology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00292>
- Eler, N., & Eler, S. (2018). 2D: 4D, Lateralization and Strength in Handball Players. *Journal of Education and Training Studies*, 6(5), 170. <https://doi.org/10.11114/jets.v6i5.3220>
- Ellison, R. C., Zhang, Y., Myers, R. H., Swanson, J. L., Higgins, M., & Eckfeldt, J. (1999). Lewis blood group phenotype as an independent risk factor for coronary heart disease (The NHLBI Family Heart Study). *American Journal of Cardiology*, 83(3), 345–348. [https://doi.org/10.1016/S0002-9149\(98\)00866-2](https://doi.org/10.1016/S0002-9149(98)00866-2)
- Emerson, F. (2002). Teste anaerobio de wingate, conceitos e aplicação. *Revista Mackenzie de Educação Física e Esporte*, 1(1).
- Fink, B., & Manning, J. (2018). Direct versus indirect measurement of digit ratio: New data from Austria and a critical consideration of clarity of report in 2D:4D studies. *Early Human Development*, 127, 28–32.

<https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2018.09.007>

- Fink, B., Manning, J., & Neave, N. (2004). Second to fourth digit ratio and the “big five” personality factors. *Personality and Individual Differences*, 37(3), 495–503. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2003.09.018>
- Fink, B., Thanzami, V., Seydel, H., & Manning, J., (2006). Digit ratio and hand-grip strength in German and Mizos men: Cross-cultural evidence for an organizing effect of prenatal testosterone on strength. *American Journal of Human Biology*, 18(6), 776–782. <https://doi.org/10.1002/ajhb.20549>
- Folland, J. P., Mc Cauley, T. M., Phypers, C., Hanson, B., & Mastana, S. S. (2012). Relationship of 2D:4D finger ratio with muscle strength, testosterone, and androgen receptor CAG repeat genotype. *American Journal of Physical Anthropology*, 148(1), 81–87. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22044>
- Forstmeier, W., Mueller, J. C., & Kempenaers, B. (2010). A polymorphism in the oestrogen receptor gene explains covariance between digit ratio and mating behaviour. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1698), 3353–3361. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.1007>
- Fortin-Guichard, D., Huberts, I., Sanders, J., van Elk, R., Mann, D. L., & Savelsbergh, G. J. P. (2022). Predictors of selection into an elite level youth football academy: A longitudinal study. *Journal of Sports Sciences*, 40(9), 984–999. <https://doi.org/10.1080/02640414.2022.2044128>
- Foster, E. D., & Deardorff, A. (2017). Open Science Framework (OSF). *Journal of the Medical Library Association*, 105(2). <https://doi.org/10.5195/jmla.2017.88>
- Fox, A., Bonacci, J., McLean, S. G., Spittle, M., & Saunders, N. (2014). What is normal? Female lower limb kinematic profiles during athletic tasks used to examine anterior cruciate ligament injury risk: A systematic review. *Sports Medicine*, 44(6). <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0168-8>
- Fox J, Stanton, R., Sargent, C., Wintour, S. A., & Scanlan, A. T. (2018). The Association between training load and performance in team sports: A systematic review. *Sports Medicine*, 48(12). <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0982-5>
- Frick, N. A., Hull, M. J., Manning, J., & Tomkinson, G. R. (2017). Relationships between digit ratio (2D:4D) and basketball performance in Australian men. *American Journal of Human Biology*, 29(3). <https://doi.org/10.1002/ajhb.22937>
- Fusar-Poli, L., Rodolico, A., Sturiale, S., Carotenuto, B., Natale, A., Arillotta, D., Siafis, S., Signorelli, M. S., & Aguglia, E. (2021). Second-to-fourth digit ratio (2D:4D) in

- psychiatric disorders: A systematic review of case-control studies. In *Clinical Psychopharmacology and Neuroscience* (Vol. 19, Issue 1, pp. 26–45). Korean College of Neuropsychopharmacology. <https://doi.org/10.9758/CPN.2021.19.1.26>
- Gallup, A. C., White, D. D., & Gallup, G. G. (2007). Handgrip strength predicts sexual behavior, body morphology, and aggression in male college students. *Evolution and Human Behavior*, 28(6), 423–429. <https://doi.org/10.1016/j.evolhumbehav.2007.07.001>
- Garganta, J. (2009). *Identificação, seleção e promoção de talentos nos jogos desportivos: factos, mitos e equívocos*. <http://pt.wikipedia.org/wiki/Talento>
- Gebara, O. C. E., Vieira, N. W., Meyer, J. W., Luisa, A., Calich, G., Tai, E. J., Pierri, H., Wajngarten, M., Aldrighi, J. M., & Paulo, S. (2002). Efeitos cardiovasculares da testosterona. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 79(6), 644–649.
- Godfrey, K. M., Reynolds, R. M., Prescott, S. L., Nyirenda, M., Jaddoe, V. W. V., Eriksson, J. G., & Broekman, B. F. P. (2017). Influence of maternal obesity on the long-term health of offspring. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, 5(1), 53–64. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(16\)30107-3](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(16)30107-3)
- Golby, J., & Meggs, J. (2011). Exploring the organizational effect of prenatal testosterone upon the sporting brain. *Journal of Sports Science and Medicine*, 10(3), 445–451.
- Gorka, A. X., Norman, R. E., Radtke, S. R., Carré, J. M., & Hariri, A. R. (2015). Anterior cingulate cortex gray matter volume mediates an association between 2D:4D ratio and trait aggression in women but not men. *Psychoneuroendocrinology*, 56, 148–156. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2015.03.004>
- Güler, D. (2018). The relation between 2D:4D finger length ratio and sport performances of amateur basketball players. *European Journal of Physical Education and Sport Science*, 4(3), 91–100. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1221408>
- Hales, N., & Barker, D. J. P. (2001). The thrifty phenotype hypothesis. *British Medical Bulletin*, 60(1), 5–20. <https://doi.org/10.1093/bmb/60.1.5>
- Hammes, S. R., & Levin, E. R. (2019). Impact of estrogens in males and androgens in females. *Journal of Clinical Investigation*, 129 (5), 1818–1826. <https://doi.org/10.1172/JCI125755>
- Hathi, D., Goswami, S., Sengupta, N., & Baidya, A. (2022). A novel homozygous CYP19A1 gene mutation causing aromatase deficiency. *Cureus*, 14(1), e22059. <https://doi.org/10.7759/cureus.22059>

- Herault, Y., Fraudeau, N., Zákány, J., & Duboule, D. (1997). Ulnaless (Ul), a regulatory mutation inducing both loss-of-function and gain-of-function of posterior Hoxd genes. *Development*, 124(18), 3493–3500.
- Hill, R., Simpson, B., Manning, J., & Kilduff, L. (2012). Right-left digit ratio (2D:4D) and maximal oxygen uptake. *Journal of Sports Sciences*, 30(2), 129–134. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.637947>
- Hines, M. (2002). *Sexual Differentiation of Human Brain and Behavior*. Cambridge University Press.
- Holzapfel, S. D., Chomentowski, P. J., Summers, L. A. M., & Sabin, M. J. (2016). The relationship between digit ratio (2d:4d), Vo_{2max} , ventilatory threshold, and running performance. *International Journal of Sports Sciences & Fitness*, 6(1).
- Hönekopp, J., & Schuster, M. (2010). A meta-analysis on 2D:4D and athletic prowess: Substantial relationships but neither hand out-predicts the other. *Personality and Individual Differences*, 48(1), 4–10. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2009.08.009>
- Hönekopp, J., & Watson, S. (2011). Meta-analysis of the relationship between digit-ratio 2D:4D and aggression. *Personality and Individual Differences*, 51(4), 381–386. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2010.05.003>
- Hopkins, W., Marshall, S., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(1), 3–12. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Hoppe, M. W., Freiwald, J., Baumgart, C., Born, D. P., Reed, J. L., & Sperlich, B. (2015). Relationship between core strength and key variables of performance in elite rink hockey players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 55(3), 150-157.
- Hsu, C.-C., Su, B., Kan, N.-W., Lai, S.-L., Fong, T.-H., Chi, C.-P., Chang, C.-C., & Hsu, M.-C. (2015). Elite collegiate tennis athletes have lower 2D:4D ratios than those of nonathlete controls. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(3), 822–825. www.nscs.com
- Hull, M. J., Schranz, N. K., Manning, J., & Tomkinson, G. R. (2015). Relationships between digit ratio (2D:4D) and female competitive rowing performance. *American Journal of Human Biology*, 27(2), 157–163. <https://doi.org/10.1002/ajhb.22627>
- Ilhan, A., Çelik, E., & Egesoy, H. (2020). The relationship between some physical performance parameters and 2D:4D digit ratio in young athletes. *Ambient Science*, 7(Special Issue 1), 92-96. <https://doi.org/10.21276/ambi.2020.07.sp1.ta15>

- Imagawa, E., Kayserili, H., Nishimura, G., Nakashima, M., Tsurusaki, Y., Saitsu, H., Ikegawa, S., Matsumoto, N., & Miyake, N. (2014). Severe manifestations of hand-foot-genital syndrome associated with a novel HOXA13 mutation. *American Journal of Medical Genetics, Part A*, 164(9), 2398–2402. <https://doi.org/10.1002/ajmg.a.36648>
- Irie, T., Aizawa, T., & Kokubun, S. (2005). The role of sex hormones in the kinetics of chondrocytes in the growth plate. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 87(9), 1278–1284. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.87B9>
- Issurin, V. B. (2017). Evidence-based prerequisites and precursors of athletic talent: A review. *Sports Medicine*, 47(10), 1993–2010. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0740-0>
- Joyce, C. W., Kelly, J. C., Chan, J. C., Colgan, G., O'Briain, D., Mc Cabe, J. P., & Curtin, W. (2013). Second to fourth digit ratio confirms aggressive tendencies in patients with boxers' fractures. *Injury*, 44(11), 1636–1639. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2013.07.018>
- Joyner, M. J. (2017). Physiological limits to endurance exercise performance: influence of sex. *The Journal of Physiology*, 595(9), 2949–2954. <https://doi.org/10.1113/JP272268>
- Jürimäe, T., Voracek, M., Jürimäe, J., Lätt, E., Haljaste, K., Saar, M., & Purge, P. (2008). Relationships between finger-length ratios, ghrelin, leptin, IGF axis, and sex steroids in young male and female swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 104(3), 523–529. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0801-z>
- Keshavarz, M., Bayati, M., Farzad, B., Dakhili, A., & Agha-Alinejad, H. (2017). The second to fourth digit ratio in elite and non-elite greco-roman wrestlers. *Journal of Human Kinetics*, 60(1), 145–151. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0097>
- Kilduff, L., Cook, C. J., Bennett, M., Crewther, B., Bracken, R. M., & Manning, J. (2013). Right-left digit ratio (2D:4D) predicts free testosterone levels associated with a physical challenge. *Journal of Sports Sciences*, 31(6), 677–683. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.747690>
- Kilduff, L. P., Cook, C. J., & Manning, J. (2011). Digit ratio (2D:4D) and performance in male surfers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(11), 3175–3180. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31820caa74>
- Kingman, J. C., & Dyson, R. J. (1997). Analysis of roller hockey match play. *Journal of Human Movement Studies*, 32(6), 335–343.

- Klapprodt, K. L., Fitzgerald, J. S., Short, S. E., Manning, J., & Tomkinson, G. R. (2018). Relationships between the digit ratio (2D:4D) and game-related statistics in professional and semi-professional male basketball players. *American Journal of Human Biology*, 30(6), e23182. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23182>
- Knickmeyer, R., Baron-Cohen, S., Raggatt, P., & Taylor, K. (2005). Foetal testosterone, social relationships, and restricted interests in children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 46(2), 198–210. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2004.00349.x>
- Kociuba, M., Chakraborty, R., Ignasiak, Z., & Kozieł, S. (2019). Digit ratio (2D:4D) moderates the change in handgrip strength on an aggressive stimulus: A study among Polish young adults. *Early Human Development*, 128, 62–68. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2018.11.009>
- Kociuba, M., Kozieł, S., & Chakraborty, R. (2016). Sex differences in digit ratio (2d:4d) among military and civil cohorts at a military academy in wrocław, Poland. *Journal of Biosocial Science*, 48(5), 658–671. <https://doi.org/10.1017/S0021932015000401>
- Koç, H., Aksoy, C., Eskici, G., & Koroğlu, Y. (2017). Analysis of the relationship between 2d:4d finger length ratios and leg strength among athletes. *Journal of Physical Education and Sport*, 17(S3), 1039-1043. <https://doi.org/10.7752/jpes.2017.s3150>
- Kohl, C., McIntosh, E. J., Unger, S., Haddaway, N. R., Kecke, S., Schiemann, J., & Wilhelm, R. (2018). Online tools supporting the conduct and reporting of systematic reviews and systematic maps: A case study on CADIMA and review of existing tools. *Environmental Evidence*, 7(1), Article 8. <https://doi.org/10.1186/s13750-018-0115-5>
- Koley, S., & Kumaar, S. (2012). The relation between handgrip strength and selected hand-anthropometric variables in Indian inter-university softball players. *Physical Education and Sport*, 10(1), 21–27.
- Kozieł, S. M., & Malina, R. M. (2018). Modified Maturity Offset Prediction Equations: Validation in Independent Longitudinal Samples of Boys and Girls. *Sports Medicine*, 48(1), 221–236. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0750-y>
- Kuepper, Y., & Hennig, J. (2007). Behavioral aggression is associated with the 2D:4D ratio in men but not in women. *Journal of Individual Differences*, 28(2), 64–68. <https://doi.org/10.1027/1614-0001.28.2.64>

- Kurtoğlu, A., & Çiftçi, R. (2023). Relationship between 2D:4D ratio, handgrip strength, and hamstring muscle length in different sports: A study of volleyball, football and basketball branches. *Physical Education of Students*, 27(1), 30-36. <https://doi.org/10.15561/20755279.2023.0103>
- Lang, R. M., Bierig, M., Devereux, R. B., Flachskampf, F. A., Foster, E., Pellikka, P. A., Picard, M. H., Roman, M. J., Seward, J., Shanewise, J. S., Solomon, S. D., Spencer, K. T., St John Sutton, M., & Stewart, W. J. (2005). Recommendations for chamber quantification: A report from the American Society of Echocardiography's guidelines and standards committee and the Chamber Quantification Writing Group, developed in conjunction with the European Association of Echocardiography. *Journal of the American Society of Echocardiography*, 18(12), 1440-1463. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2005.10.005>
- Larkin, P., & Reeves, M. J. (2018). Junior-elite football: time to re-position talent identification? *Soccer and Society*, 19(8), 1183–1192. <https://doi.org/10.1080/14660970.2018.1432389>
- Lätt, E., Jürimäe, J., Mäestu, J., Purge, P., Rämson, R., Haljaste, K., Keskinen, K. L., Rodriguez, F. A., & Jürimäe, T. (2010). Physiological, biomechanical and anthropometrical predictors of sprint swimming performance in adolescent swimmers. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9, 398–404. <http://www.jssm.org>
- Léger, L. A., Mercier, D., Gadoury, C., & Lambert, J. (1988). The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of Sports Sciences*, 6(2), 93-101. <https://doi.org/10.1080/02640418808729800>
- Lepers, R. (2019). Sex difference in triathlon performance. *Frontiers in Physiology*, 10, Article 973. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.009>
- Lohman, T., Roche, A., & Martorell, R. (1988). *Anthropometric Standardization Reference Manual*. Human Kinetics. <https://doi.org/10.1080/00140138808966796>
- Lombardo, M. P., & Otieno, S. (2021). The associations between digit ratio, aerobic fitness, physical skills, and overall physical fitness of elite youth distance runners. *American Journal of Human Biology*, 33(1). <https://doi.org/10.1002/ajhb.23448>
- Lombardo, M. P., Otieno, S., & Heiss, A. (2018). College-aged women in the United States that play overhand throwing sports have masculine digit ratios. *PLoS ONE*, 13(9), e0203685. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203685>

- Longman, D., Stock, J. T., & Wells, J. C. K. (2011). Digit ratio (2D:4D) and rowing ergometer performance in males and females. *American Journal of Physical Anthropology*, 144(3), 337–341. <https://doi.org/10.1002/ajpa.21407>
- Lutchmaya, S., Baron-Cohen, S., Raggatt, P., Knickmeyer, R., & Manning, J. (2004). 2nd to 4th digit ratios, fetal testosterone and estradiol. *Early Human Development*, 77(1–2), 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2003.12.002>
- Mailhos, A., Buunk, A. P., Del Arca, D., & Tutte, V. (2016). Soccer players awarded one or more red cards exhibit lower 2D:4D ratios. *Aggressive Behavior*, 42(5), 417–426. <https://doi.org/10.1002/ab.21638>
- Malas, M. A., Dogan, S., Hilal Evcil, E., & Desdicioglu, K. (2006). Fetal development of the hand, digits and digit ratio (2D:4D). *Early Human Development*, 82(7), 469–475. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2005.12.002>
- Malik, A., & Malik, S. (2011). Digit Ratio (2D:4D): An indicator of serum testosterone and prenatal programming of specific sports. *International Journal of Sports Sciences & Fitness*, 1(1), 1–7.
- Malina, R. M. (2014). Top 10 research questions related to growth and maturation of relevance to physical activity, performance, and fitness. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 85(2), 157–173. <https://doi.org/10.1080/02701367.2014.897592>
- Manning, J. (2002). *Digit ratio: a pointer to fertility, behavior, and health*. Rutgers University Press.
- Manning, J. (2010). Digit ratio (2D:4D), sex differences, allometry, and finger length of 12–30-year olds: Evidence from the British Broadcasting Corporation (BBC) internet study. *American Journal of Human Biology*, 22(5), 604–608. <https://doi.org/10.1002/ajhb.21051>
- Manning, J., & Bundred, P. E. (2000). The ratio of 2nd to 4th digit length: A new predictor of disease predisposition? *Medical Hypotheses*, 54(5), 855–857. <https://doi.org/10.1054/mehy.1999.0000>
- Manning, J., Bundred, P. E., & Fink, B. (2002). The ratio of 2nd to 4th digit length: a proxy for transactivation activity of the androgen receptor gene? *Medical Hypotheses*, 59, 334–336. [https://doi.org/10.1016/S0306-9877\(02\)00181-0](https://doi.org/10.1016/S0306-9877(02)00181-0)
- Manning, J., & Fink, B. (2018). Digit ratio. *Encyclopedia of Evolutionary Psychological Science* (pp. 1–12). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16999-6_3829-1

- Manning, J., & Fink, B. (2018). Sexual dimorphism in the ontogeny of second (2D) and fourth (4D) digit lengths, and digit ratio (2D:4D). *American Journal of Human Biology*, 30(4). <https://doi.org/10.1002/ajhb.23138>
- Manning, J., & Hill, M. R. (2009). Digit ratio (2D:4D) and sprinting speed in boys. *American Journal of Human Biology*, 21(2), 210–213. <https://doi.org/10.1002/ajhb.20855>
- Manning, J., Kilduff, L., Cook, C., Crewther, B., & Fink, B. (2014). Digit ratio (2D:4D): A biomarker for prenatal sex steroids and adult sex steroids in challenge situations. *Frontiers in Endocrinology*, 5, Article 9. <https://doi.org/10.3389/fendo.2014.00009>
- Manning, J., Kilduff, L. P., & Trivers, R. (2013). Digit ratio (2D:4D) in Klinefelter's syndrome. *Andrology*, 1(1), 94–99. <https://doi.org/10.1111/j.2047-2927.2012.00013.x>
- Manning, J., Bundred, P. E., Newton, D. J., & Flanagan, B. F. (2003). The second to fourth digit ratio and variation in the androgen receptor gene. *Evolution and Human Behavior*, 24(6), 399–405. [https://doi.org/10.1016/S1090-5138\(03\)00052-7](https://doi.org/10.1016/S1090-5138(03)00052-7)
- Manning, J., Callow, M., & Bundred, P. E. (2003). Finger and toe ratios in humans and mice: Implications for the aetiology of diseases influenced by HOX genes. *Medical Hypotheses*, 60(3), 340–343. [https://doi.org/10.1016/S0306-9877\(02\)00400-0](https://doi.org/10.1016/S0306-9877(02)00400-0)
- Manning, J., Churchill, A. J. G., & Peters, M. (2007). The effects of sex, ethnicity, and sexual orientation on self-measured digit ratio (2D:4D). *Archives of Sexual Behavior*, 36(2), 223–233. <https://doi.org/10.1007/s10508-007-9171-6>
- Manning, J., Fink, B., Neave, N., & Szwed, A. (2006). The second to fourth digit ratio and asymmetry. *Annals of Human Biology*, 33(4), 480–492. <https://doi.org/10.1080/03014460600802551>
- Manning, J., Morris, L., & Caswell, N. (2007). Endurance running and digit ratio (2D:4D): Implications for fetal testosterone effects on running speed and vascular health. *American Journal of Human Biology*, 19(3), 416–421. <https://doi.org/10.1002/ajhb.20603>
- Manning, J. T., Scutt, D., Wilson, J., & Lewis-Jones, D. I. (1998). The ratio of 2nd to 4th digit length: A predictor of sperm numbers and concentrations of testosterone, luteinizing hormone and oestrogen. *Human Reproduction*, 13(11), 3000–3004. <https://doi.org/10.1093/humrep/13.11.3000>

- Manning, J., & Taylor, R. P. (2001). Second to fourth digit ratio and male ability in sport: Implications for sexual selection in humans. *Evolution and Human Behavior*, 22(1) 61-69. [https://doi.org/10.1016/S1090-5138\(00\)00063-5](https://doi.org/10.1016/S1090-5138(00)00063-5)
- Manning, J., Trivers, R. L., Thornhill, R., & Singh, D. (2000). The 2nd:4th digit ratio and asymmetry of hand performance in Jamaican children. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 5(2), 121–132. <https://doi.org/10.1080/135765000396744>
- Manolagas, S. C., O'Brien, C. A., & Almeida, M. (2013). The role of estrogen and androgen receptors in bone health and disease. *Nature Reviews Endocrinology*, 9(12), 699–712. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2013.179>
- Mariotti, A., & Mawhinney, M. (2013). Endocrinology of sex steroid hormones and cell dynamics in the periodontium. *Periodontology* 2000, 61(1), 69–88. <https://doi.org/10.1111/prd.12007>
- McFadden, D., & Shubel, E. (2002). Relative lengths of fingers and toes in human males and females. *Hormones and Behavior*, 42(4), 492–500. <https://doi.org/10.1006/hbeh.2002.1833>
- McIntyre, M. H. (2006). The use of digit ratios as markers for perinatal androgen action. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 4, Article 10. <https://doi.org/10.1186/1477-7827-4-10>
- McIntyre, M. H., Ellison, P. T., Lieberman, D. E., Demerath, E., & Towne, B. (2005). The development of sex differences in digital formula from infancy in the Fels Longitudinal Study. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 272(1571), 1473–1479. <https://doi.org/10.1098/rspb.2005.3100>
- McNulty, P. H., Pfau, S., & Deckelbaum, L. I. (2000). Effect of plasma insulin level on myocardial blood flow and its mechanism of action. *The American Journal of Cardiology*, 85(2), 161–165. [https://doi.org/10.1016/S0002-9149\(99\)00650-5](https://doi.org/10.1016/S0002-9149(99)00650-5)
- Millet, K., & Dewitte, S. (2007). Digit ratio (2D:4D) moderates the impact of an aggressive music video on aggression. *Personality and Individual Differences*, 43(2), 289–294. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2006.11.024>
- Molina, P. E. (2018). *Endocrine Physiology* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Monka, M., & Pietraszewska, J. (2020). Digit ratio in groups of sporting and non-sporting women and men and its relations with somatic features and motor fitness. *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine*, 29(1), 37-48. <https://doi.org/10.18276/cej.2020.1-04>

- Neumayr, G., Hoertnagl, H., Pfister, R., Koller, A., Eibl, G., & Raas, E. (2003). Physical and physiological factors associated with success in professional alpine skiing. *Sports Medicine*, 33(8), 571–575. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333080-00003>
- Nobari, H., Alves, A. R., Clemente, F. M., & Pérez-Gómez, J. (2021). Influence of 2D:4D ratio on fitness parameters and accumulated training load in elite youth soccer players. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 13(1), Article 54. <https://doi.org/10.1186/s13102-021-00354-5>
- Nobari, H., Eken, Ö., Prieto-González, P., Oliveira, R., & Brito, J. P. (2023). Association between 2D:4D ratios and sprinting, change of direction ability, aerobic fitness, and cumulative workloads in elite youth soccer players. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 15(1), Article 65. <https://doi.org/10.1186/s13102-023-00654-y>
- Notelovitz, M. (2002). Androgen effects on bone and muscle. *Fertility and Sterility*, 77(4), 34–41.
- Pablo Méndez Rodríguez, J., Alfredo, O., Arjona, M., Monterrosa-Quintero, A., & Quintero, A. M. (2024). Relationship between the 2D:4D ratio, physical performance variables, and body composition in elite wrestling athletes. *Retos*, 946–952. <https://recyt.fecyt.es/index.php/retos/index>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Journal of Clinical Epidemiology*, 134, 178–189. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.03.001>
- Panda, K., Majumdar, P., Umesh, V., & Sudhakar, H. H. (2014). Ratio of second to fourth digit as a predictor of performance in elite Indian volley ball players. *National Journal of Physiology, Pharmacy and Pharmacology*, 4(2), 106–108. <https://doi.org/10.5455/njppp.2014.4.011020132>
- Pasanen, B. E., Tomkinson, J. M., Dufner, T. J., Park, C. W., Fitzgerald, J. S., & Tomkinson, G. R. (2022). The relationship between digit ratio (2D:4D) and muscular fitness: A systematic review and meta-analysis. *American Journal of Human Biology*, 34(3). <https://doi.org/10.1002/ajhb.23657>
- Pate, R. R., & O'Neill, J. R. (2007). American women in the marathon. *Sports Medicine*, 37(4–5), 294–298. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737040-00006>
- Perciavalle, V., Di Corrado, D., Petralia, M. C., Gurrisi, L., Massimino, S., & Coco, M. (2013). The second-to-fourth digit ratio correlates with aggressive behavior in

- professional soccer players. *Molecular Medicine Reports*, 7(6), 1733–1738.
<https://doi.org/10.3892/mmr.2013.1426>
- Perciavalle, V., Di Corrado, D., Scuto, C., Perciavalle, V., & Coco, M. (2014). Anthropometrics related to the performance of a sample of male swimmers. *Perceptual and Motor Skills*, 118(3), 940–950.
<https://doi.org/10.2466/19.50.PMS.118k27w8>
- Peters, M., Mackenzie, K., & Bryden, P. (2002). Finger length and distal finger extent patterns in humans. *American Journal of Physical Anthropology*, 117(3), 209–217.
<https://doi.org/10.1002/ajpa.10029>
- Phelps, V. R. (1952). Relative index finger length as a sex-influenced trait in man. *American Journal of Human Genetics*, 4(2), 72–89.
- Porti, J. & Mori, I. (1987). Hockey total. Ayuntamiento de Oviedo. Oviedo: Consejería de Cultura.
- Quinonez, S. C., & Innis, J. W. (2014). Human HOX gene disorders. *Molecular Genetics and Metabolism*, 111(1), 4–15. <https://doi.org/10.1016/j.ymgme.2013.10.012>
- Ranson, R., Stratton, G., & Taylor, S. R. (2015). Digit ratio (2D:4D) and physical fitness (Eurofit test battery) in school children. *Early Human Development*, 91(5), 327–331. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2015.03.005>
- Ramos Bermúdez, S., García, A. M., Ayala, C. F., & Aguirre Loaiza, H. H. (2020). Índice de longitud digital 2D:4D en deportes de pelota. *Retos*, 39, 78257. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i39.78257>
- Ratel, S. (2010). High-intensity and resistance training and elite young athletes. *Medicine and Sport Science*, 56, 84-95. <https://doi.org/10.1159/000320635>
- Reed, S., Meggs, J., & Manning, J. (2017). Examining the effect of prenatal testosterone and aggression on sporting choice and sporting longevity. *Personality and Individual Differences*, 116, 11–15. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2017.04.022>
<https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2016.04.003>
- Ribeiro, E., Neave, N., Morais, R. N., Kilduff, L., Taylor, S. R., Butovskaya, M., Fink, B., & Manning, J. (2016). Digit ratio (2D:4D), testosterone, cortisol, aggression, personality and hand-grip strength: Evidence for prenatal effects on strength. *Early Human Development*, 100, 21–25
<https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2016.04.003>

- Ribeiro, E., Neave, N., Morais, R. N., & Manning, J. (2016). Direct versus indirect measurement of digit ratio (2D:4D): A critical review of the literature and new data. *Evolutionary Psychology*, 14(1), 1-9. <https://doi.org/10.1177/1474704916632536>
- Sales, W. B., & Tomaz, R. R. (2019). Influência dos hormônios sexuais na regulação fisiológica da respiração: uma revisão de literatura. *Revista de Ciências da Saúde Nova Esperança*, 17(3), 37–43. <https://doi.org/10.17695/revcsnevol17n3p37-43>
- Schaible, T. F., Malhotra, A., Ciambrone, G., & Scheuer, J. (1984). The effects of gonadectomy on left ventricular function and cardiac contractile proteins in male and female rats. <http://ahajournals.org>
- Schorer, J., Rienhoff, R., Westphal, H., & Baker, J. (2013). Digit ratio effects between expertise levels in american football players. *Talent Development and Excellence*, 5(2), 115–122.
- Serpell, B. G., & Cook, C. J. (2022). Exploring finger digit ratios (2D:4D) in surgeons, professional rugby players, and political journalists to form a directional hypothesis: Could finger length predict attention and focus? *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 16, Article 873129. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2022.873129>
- Sharkey, M., Graba, Y., & Scott M. P. (1997). Hox genes in evolution: Protein surfaces and paralog groups. *Trends in Genetics*, 13(4), 145–151.
- Silva, R. M., Clemente, F. M., González-Fernández, F., Nobari, H., Haghighi, H., & Cancela Carral, J. M. (2022). Does maturity estimation, 2D:4D and training load measures explain physical fitness changes of youth football players? *BMC Pediatrics*, 22(1), Article 383. <https://doi.org/10.1186/s12887-022-03801-5>
- Soysal, P., Hurst, C., Demurtas, J., Firth, J., Howden, R., Yang, L., Tully, M. A., Koyanagi, A., Ilie, P. C., López-Sánchez, G. F., Schwingshackl, L., Veronese, N., & Smith, L. (2021). Handgrip strength and health outcomes: Umbrella review of systematic reviews with meta-analyses of observational studies. *Journal of Sport and Health Science*, 10(3), 290-295. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.06.009>
- Sudhakar, H. H., Majumdar, P., Umesh, V., & Panda, K. (2014). Second to fourth digit ratio is a predictor of sporting ability in elite Indian male kabaddi players. *Asian Journal of Sports Medicine*, 5(3). <https://doi.org/10.5812/asjms.23073>
- Swaab, D. F. (2007). Sexual differentiation of the brain and behavior. *Best Practice & Research: Clinical Endocrinology and Metabolism* 21(3), 431–444. <https://doi.org/10.1016/j.beem.2007.04.003>

- Swift-Gallant, A., Johnson, B. A., Di Rita, V., & Breedlove, S. M. (2020). Through a glass, darkly: Human digit ratios reflect prenatal androgens, imperfectly. *Hormones and Behavior*, 119, 104686. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2020.104686>
- Tamiya, R., Lee, S. Y., & Ohtake, F. (2012). Second to fourth digit ratio and the sporting success of sumo wrestlers. *Evolution and Human Behavior*, 33(2), 130–136. <https://doi.org/10.1016/j.evolhumbehav.2011.07.003>
- Tomaszewska, A., & Lubońska, J. A. (2022). 2D:4D digit ratio and its relationship to BMI, sporting choices and physiological predispositions among women. *Anthropological Review*, 85(2), 171-184. <https://doi.org/10.18778/1898-6773.85.2.07>
- Tomkinson, J. M., & Tomkinson, G. R. (2017). Digit ratio (2D:4D) and muscular strength in adolescent boys. *Early Human Development*, 113, 7–9. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2017.07.013>
- Trivers, R., Hopp, R., & Manning, J. (2013). A longitudinal study of digit ratio (2D:4D) and its relationships with adult running speed in Jamaicans. *Human Biology*, 85(4), 623–625. <https://doi.org/10.3378/027.085.0409>
- Trivers, R., Manning, J., & Jacobson, A. (2006). A longitudinal study of digit ratio (2D:4D) and other finger ratios in Jamaican children. *Hormones and Behavior*, 49(2), 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2005.05.023>
- Valla, J. M., & Ceci, S. J. (2011). Can sex differences in science be tied to the long reach of prenatal hormones? Brain organization theory, digit ratio (2D/4D), and sex differences in preferences and cognition. *Perspectives on Psychological Science*, 6(2), 134–146. <https://doi.org/10.1177/1745691611400236>
- Valente-Dos-Santos, J., Coelho-E-Silva, M. J., Tavares, Ó. M., Brito, J., Seabra, A., Rebelo, A., Sherar, L. B., Elferink-Gemser, M. T., & Malina, R. M. (2015). Allometric modelling of peak oxygen uptake in male soccer players of 8-18 years of age. *Annals of Human Biology*, 42(2), 126–134.
- Valente-dos-Santos, J., Sherar, L., Coelho-e-Silva, M. J., Pereira, J. R., Vaz, V., Cupido-dos-Santos, A., Baxter-Jones, A., Visscher, C., Elferink-Gemser, M. T., & Malina, R. M. (2013). Allometric scaling of peak oxygen uptake in male roller hockey players under 17 years old. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 38(4), 390-394. <https://doi.org/10.1139/apnm-2012-0178>

- Vanderschueren, D., Vandenput, L., Boonen, S., Lindberg, M. K., Bouillon, R., & Ohlsson, C. (2004). Androgens and bone. *Endocrine Reviews*, 25(3), 389–425. <https://doi.org/10.1210/er.2003-0003>
- Vaz, V. (2011). Especialização Desportiva em Jovens Hoquitas Masculinos. Estudo do jovem atleta, do processo de selecção e da estrutura do rendimento. Universidade de Coimbra. Disponível em <https://estudogeral.sib.uc.pt/jspui/handle/10316/17926>
- Verona, E., & Curtin, J. J. (2006). Gender differences in the negative affective priming of aggressive behavior. *Emotion*, 6(1), 115–124. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.6.1.115>
- Voracek, M., & Loibl, L. M. (2009). Scientometric analysis and bibliography of digit ratio (2D:4D) research, 1998-2008. *Psychological Reports*, 104(3), 922–956. <https://doi.org/10.2466/PRO.104.3.922-956>
- Voracek, M., Manning, J., & Ponocny, I. (2005). Digit ratio (2D:4D) in homosexual and heterosexual men from Austria. *Archives of Sexual Behavior*, 34(3), 335–340. <https://doi.org/10.1007/s10508-005-3122-x>
- Voracek, M., Reimer, B., & Dressler, S. G. (2010). Digit ratio (2D:4D) predicts sporting success among female fencers independent from physical, experience, and personality factors. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 20(6), 853–860. <https://doi.org/10.1111/J.1600-0838.2009.01031.X>
- Walters, K. A., Allan, C. M., & Handelsman, D. J. (2008). Androgen actions and the ovary. *Biology of Reproduction*, 78(3), 380–389. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.107.064089>
- Williams, A. M., & Reilly, T. (2000). Talent identification and development in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 18(9), 657–667. <https://doi.org/10.1080/02640410050120041>
- Wilson, J. D. (1992). Androgen action and steroid 5 α -reductase 2 deficiency. *Endocrine Reviews*, 13(3), 278–298. <https://doi.org/10.1210/edrv-13-3-278>
- Wisløff, U., Helgerud, J., & Hoff, J. (1998). Strength and endurance of elite soccer players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(3), 462–467. <https://doi.org/10.1097/00005768-199803000-00019>
- Wu, J., Liu, X., Wang, Y., Zhang, Y., & Fan, Y. (2022). Digit Ratio (2D:4D) and Performance of Chinese Elite Archers. *Journal of Men's Health*, 18(11), Article 1214. <https://doi.org/10.31083/j.jomh1811214>

- Yagüe, P. L., Del Valle, M. E., Egocheaga, J., Linnamo, V., & Fernández, A. (2013). The competitive demands of elite male rink hockey. *Biology of Sport*, 30(3), 173-177. <https://doi.org/10.5604/20831862.1059211>
- Yurdakul, H. Ö., Özen, G., & Koç, H. (2018). The relationship between digit ratio (2D:4D), anaerobic power and athletic ability of young athletes. *Universal Journal of Educational Research*, 6(12), 2850-2855. <https://doi.org/10.13189/ujer.2018.061226>
- Xu, Y., & Zheng, Y. (2016). The relationship between digit ratio (2D:4D) and sexual orientation in men from china. *Archives of Sexual Behavior*, 45(3), 735–741. <https://doi.org/10.1007/s10508-015-0535-z>
- Zamparo, P., Pendergast, D. R., Mollendorf, J., Termin, A., & Minetti, A. E. (2005). An energy balance of front crawl. *European Journal of Applied Physiology*, 94(1–2), 134–144. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1281-4>
- Zdravkovic, M., Perunicic, J., Krotin, M., Ristic, M., Vukomanovic, V., Soldatovic, I., & Zdravkovic, D. (2010). Echocardiographic study of early left ventricular remodeling in highly trained preadolescent footballers. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(6), 602-606. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2010.03.005>
- Zhang, K., Yang, X., Zhang, M., Wang, C., Fang, P., Xue, M., Zhao, J., Gao, X., Pan, R., & Gong, P. (2019). Revisiting the relationships of 2D:4D with androgen receptor (AR) gene and current testosterone levels: Replication study and meta-analyses. *Journal of Neuroscience Research*, 98(2), 353–370. <https://doi.org/10.1002/jnr.24502>
- Zhao, D., Yu, K., Zhang, X., & Zheng, L. (2013). Digit ratio (2D:4D) and handgrip strength in Hani ethnicity. *PloS One*, 8(10), e77958. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077958>
- Zheng, Z., & Cohn, M. J. (2011). Developmental basis of sexually dimorphic digit ratios. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(39), 16289–16294. <https://doi.org/10.1073/pnas.1108312108>
- Zitzmann, M. (2009). The role of the CAG repeat androgen receptor polymorphism in andrology. In M. J. Simpson (Ed.), *Frontiers of Hormone Research (Vol. 37, pp. 52–71)*. Karger. <http://ww2.mcgill.ca/androgendb/>

Apêndices e Anexos

1. Apêndices e Anexos – Material suplementar de apoio ao Estudo 1 e 3

1.1. – Lista PRISMA 2020

1.2. - Estratégia de pesquisa

1.3. - Lista de perguntas de verificação modificada de Downs e Black (1998)

1.4. – Poster apresentado no Congresso Europeu de Futebol, 2023

1.1. Lista PRISMA 2020

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
TITLE			
Title	1	Identify the report as a systematic review.	Página 1
ABSTRACT			
Abstract	2	See the PRISMA 2020 for Abstracts checklist.	Página 1
INTRODUCTION			
Rationale	3	Describe the rationale for the review in the context of existing knowledge.	Página 3
Objectives	4	Provide an explicit statement of the objective(s) or question(s) the review addresses.	Página 3
METHODS			
Eligibility criteria	5	Specify the inclusion and exclusion criteria for the review and how studies were grouped for the syntheses.	Página 4
Information sources	6	Specify all databases, registers, websites, organisations, reference lists and other sources searched or consulted to identify studies. Specify the date when each source was last searched or consulted.	Página 4
Search strategy	7	Present the full search strategies for all databases, registers and websites, including any filters and limits used.	Páginas 4-5
Selection process	8	Specify the methods used to decide whether a study met the inclusion criteria of the review, including how many reviewers screened each record and each report retrieved, whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	Página 5
Data collection process	9	Specify the methods used to collect data from reports, including how many reviewers collected data from each report, whether they worked independently, any processes for obtaining or confirming data from study investigators, and if applicable, details of automation tools used in the process.	Página 5
Data items	10a	List and define all outcomes for which data were sought. Specify whether all results that were compatible with each outcome domain in each study were sought (e.g. for all measures, time points, analyses), and if not, the methods used to decide which results to collect.	Página 5
	10b	List and define all other variables for which data were sought (e.g. participant and intervention characteristics, funding sources). Describe any assumptions made about any missing or unclear information.	Página 6
Study risk of bias assessment	11	Specify the methods used to assess risk of bias in the included studies, including details of the tool(s) used, how many reviewers assessed each study and whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	Página 6
Effect measures	12	Specify for each outcome the effect measure(s) (e.g. risk ratio, mean difference) used in the synthesis or presentation of results.	Página 6
Synthesis methods	13a	Describe the processes used to decide which studies were eligible for each synthesis (e.g. tabulating the study intervention characteristics and comparing against the planned groups for each synthesis (item #5)).	Página 6
	13b	Describe any methods required to prepare the data for presentation or synthesis, such as handling of missing summary statistics, or data	Página 7

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
		conversions.	
	13c	Describe any methods used to tabulate or visually display results of individual studies and syntheses.	Página 7
	13d	Describe any methods used to synthesize results and provide a rationale for the choice(s). If meta-analysis was performed, describe the model(s), method(s) to identify the presence and extent of statistical heterogeneity, and software package(s) used.	Página 7
	13e	Describe any methods used to explore possible causes of heterogeneity among study results (e.g. subgroup analysis, meta-regression).	Página 5
	13f	Describe any sensitivity analyses conducted to assess robustness of the synthesized results.	N/A
Reporting bias assessment	14	Describe any methods used to assess risk of bias due to missing results in a synthesis (arising from reporting biases).	Página 6
Certainty assessment	15	Describe any methods used to assess certainty (or confidence) in the body of evidence for an outcome.	N/A
RESULTS			
Study selection	16a	Describe the results of the search and selection process, from the number of records identified in the search to the number of studies included in the review, ideally using a flow diagram.	Página 7-8
	16b	Cite studies that might appear to meet the inclusion criteria, but which were excluded, and explain why they were excluded.	Página 8
Study characteristics	17	Cite each included study and present its characteristics.	Página 8-45
Risk of bias in studies	18	Present assessments of risk of bias for each included study.	Página 46-48
Results of individual studies	19	For all outcomes, present, for each study: (a) summary statistics for each group (where appropriate) and (b) an effect estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval), ideally using structured tables or plots.	Página 8-45
Results of syntheses	20a	For each synthesis, briefly summarise the characteristics and risk of bias among contributing studies.	Página 8-45
	20b	Present results of all statistical syntheses conducted. If meta-analysis was done, present for each the summary estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval) and measures of statistical heterogeneity. If comparing groups, describe the direction of the effect.	Página 8-45
	20c	Present results of all investigations of possible causes of heterogeneity among study results.	Página 49-50
	20d	Present results of all sensitivity analyses conducted to assess the robustness of the synthesized results.	Página 49-50
Reporting biases	21	Present assessments of risk of bias due to missing results (arising from reporting biases) for each synthesis assessed.	N/A
Certainty of evidence	22	Present assessments of certainty (or confidence) in the body of evidence for each outcome assessed.	N/A
DISCUSSION			

Discussion	23a	Provide a general interpretation of the results in the context of other evidence.	Página 51-52
	23b	Discuss any limitations of the evidence included in the review.	Página 52-55

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
	23c	Discuss any limitations of the review processes used.	Página 55
	23d	Discuss implications of the results for practice, policy, and future research.	Página 55
OTHER INFORMATION			
Registration and protocol	24a	Provide registration information for the review, including register name and registration number, or state that the review was not registered.	Página 5
	24b	Indicate where the review protocol can be accessed, or state that a protocol was not prepared.	Página 5
	24c	Describe and explain any amendments to information provided at registration or in the protocol.	Página 5
Support	25	Describe sources of financial or non-financial support for the review, and the role of the funders or sponsors in the review.	N/A
Competing interests	26	Declare any competing interests of review authors.	Página 55
Availability of data, code and other materials	27	Report which of the following are publicly available and where they can be found: template data collection forms; data extracted from included studies; data used for all analyses; analytic code; any other materials used in the review.	N/A

1.2. Estratégia de pesquisa

Pubmed

("Athletes"[MeSH] OR "Sports"[MeSH] OR "Competition"[MeSH] OR "Sporting"[MeSH] OR "Players"[MeSH] OR "Elite"[MeSH] OR "Amateur"[MeSH] OR "Collegiate"[MeSH] OR "Adult"[MeSH] OR "Young"[MeSH] OR "Youth"[MeSH]) AND ("Digit Ratio" OR "2D:4D" OR "2D/4D") AND ("Sex Characteristics"[MeSH] OR "Age Factors"[MeSH] OR "Race Factors"[MeSH] OR "Athletic"[MeSH] OR "Performance"[MeSH] OR "Sports"[MeSH] OR "Anatomical"[MeSH] OR "Cognitive"[MeSH] OR "Behavioral"[MeSH] OR "Ability"[MeSH] OR "Anthropometrics"[MeSH] OR "Strength"[MeSH] OR "Running"[MeSH] OR "Training"[MeSH])

Scopus

(TITLE-ABS-KEY("Athlet*" OR "Sport*" OR "Compet*" OR "Player*" OR "Elite" OR "Amateur" OR "Collegiate" OR "Adult" OR "Young*" OR "Youth") AND TITLE-ABS-KEY("Digit Ratio" OR "2D:4D" OR "2D/4D" OR "Sex Characteristic*" OR "Age Factor*" OR "Race Factor*" OR "Athletic" OR "Performance" OR "Sport*" OR "Anatomical" OR "Cognitive" OR "Behavioral" OR "Abilit*" OR "Anthropometric*" OR "Strength" OR "Run*" OR "Train*"))

Web of Science

(TI=("Athlet*" OR "Sport*" OR "Compet*" OR "Player*" OR "Elite" OR "Amateur" OR "Collegiate" OR "Adult" OR "Young*" OR "Youth") AND AB=("Digit Ratio" OR "2D:4D" OR "2D/4D" OR "Sex Characteristic*" OR "Age Factor*" OR "Race Factor*" OR "Athletic" OR "Performance" OR "Sport*" OR "Anatomical" OR "Cognitive" OR "Behavioral" OR "Abilit*" OR "Anthropometric*" OR "Strength" OR "Run*" OR "Train*"))

SPORTDiscus

(TI=("Athlet*" OR "Sport*" OR "Compet*" OR "Player*" OR "Elite" OR "Amateur" OR "Collegiate" OR "Adult" OR "Young*" OR "Youth") AND AB=("Digit Ratio" OR "2D:4D" OR "2D/4D" OR "Sex Characteristic*" OR "Age Factor*" OR "Race Factor*" OR "Athletic" OR "Performance" OR "Sport*" OR "Anatomical" OR "Cognitive" OR "Behavioral" OR "Abilit*" OR "Anthropometric*" OR "Strength" OR "Run*" OR "Train*"))

1.3. Lista de perguntas de verificação modificada de Downs e Black (1998), usadas para avaliar a qualidade metodológica dos artigos incluídos.

Pergunta nº.	Pergunta
Reporta:	
1	A hipótese/objetivo do estudo esta claramente descrita?
2	As principais medidas de resultado a serem avaliadas estão claramente descritas na introdução ou na secção de métodos?
3	As características dos participantes incluídos no estudo estão claramente descritas?
4	As principais descobertas do estudo estão claramente descritas?
5	O estudo fornece estimativas da variabilidade aleatória nos dados para as principais medidas de resultado?
6	Foram reportados valores de probabilidade reais (por exemplo, 0,035 em vez de $< 0,05$) para as principais medidas de resultado, exceto quando o valor de probabilidade é $< 0,001$?
Validade externa	
7	Os participantes convidados a participar no estudo são representativos da população total de onde foram recrutados?
8	Os participantes que estavam dispostos a participar são representativos da população total de onde foram recrutados?
Viés de validade interna	
9	Se algum dos resultados do estudo foi baseado em "pesquisa indiscriminada de dados", isso foi claro?
10	Os testes estatísticos usados para avaliar as principais medidas de resultado foram apropriados?
11	As medidas de resultado principais foram precisas (válidas e fiáveis)?

1.4. Poster apresentado no Congresso Europeu de Futebol, 13-14 de Abril de 2023

Did you know that the length of the fingers can be a measure that will help identify young athletes in football???

RELATIONSHIP BETWEEN THE PROPORTION OF DIGITS IN YOUTH FOOTBALL: COMPARISON BETWEEN ELITE AND NON-ELITE PLAYERS

Bernardino V¹, Valente-dos-Santos J^{2,3}, Coelho-e-Silva MJ^{3,4}

¹FEFD, Lusófona University, Lisboa, Portugal

²CIDEFES, Faculty of Physical Education and Sport, Lusófona University, Lisboa, Portugal

³CIDAF, University of Coimbra, Coimbra, Portugal

⁴FCDEF, Faculty of Sports Sciences and Physical Education, University of Coimbra, Coimbra, Portugal

Background: O rácio 2d:4d (diferença entre do 2º dedo e do 4º dedo) é considerado um biomarcador putativo das hormonas sexuais pré-natais, nomeadamente a testosterona e o estrogénio, que por consequência têm efeito no cérebro, no sistema cardiovascular e músculo esquelético.



Aim: Analyse the finger length and ratios, in young male football athletes according to the competitive level.

Methods: The sample comprised 70 male Portuguese football players (15.1±0.63 years of age). Anthropometry and finger length (X-ray) was measured. Descriptive statistics were calculated and independent t-test and d-cohen were used to compare players by competitive level (local, n=35; regional elite, n=35).

RESULTS

The regional elite group presents lower values in most ratios. We highlight that the average 2D:4D ratio (1.01±0.03) of the regional elite athletes presents lower values than the average 2D:4D ratio (1.03±0.02) in the local athletes [2D:4D ratio: $t = 2.79$; $p < 0.007$; $d = 0.66$ -Moderate].



Tabela 2: Média e desvio padrão do comprimento dos dedos da mão esquerda por nível competitivo e comparações entre grupos em jogadores de futebol adolescentes do sexo masculino (n=70)

Variáveis	Unidades de medida	Local (n=35)		Elite Regional (n=35)		t	p	Magnitude de efeito
		Média	DP	Média	SD			
1º Dedo	cm	10.87	0.21	10.56	0.55	2.01	0.048	0.47 (Pequeno)
2º Dedo	cm	15.95	0.85	16.15	0.63	-1.28	0.204	0.30 (Pequeno)
3º Dedo	cm	16.65	0.62	17.25	0.48	-3.68	<0.001	0.87 (Moderado)
4º Dedo	cm	15.46	0.31	15.56	0.61	-0.84	0.405	0.09 (Pequeno)
5º Dedo	cm	13.05	0.77	13.15	0.69	-0.62	0.532	0.02 (Pequeno)

Nota: DP (desvio padrão); t (p-value); p (p-value); d (Cohen's d-value)

Tabela 3: Média e desvio padrão do rácio derivado dos dígitos da mão esquerda por nível competitivo e comparações entre grupos em jogadores adolescentes de futebol, do sexo masculino (n=70)

Variáveis	Unidades de medida	Local (n=35)		Elite Regional (n=35)		t	p	Magnitude de efeito
		Média	DP	Média	DP			
Rácio 1d:2d	cm.cm ⁻¹	0.68	0.02	0.65	0.02	5.26	<0.001	1.24 (Largo)
Rácio 1d:3d	cm.cm ⁻¹	0.65	0.02	0.61	0.03	6.26	<0.001	1.53 (Largo)
Rácio 1d:4d	cm.cm ⁻¹	0.70	0.02	0.68	0.03	6.30	<0.001	1.48 (Largo)
Rácio 1d:5d	cm.cm ⁻¹	0.64	0.03	0.60	0.03	4.52	<0.001	1.07 (Moderado)
Rácio 2d:3d	cm.cm ⁻¹	0.96	0.02	0.94	0.03	3.91	0.001	0.95 (Moderado)
Rácio 2d:4d	cm.cm ⁻¹	1.03	0.02	1.01	0.03	2.79	0.007	0.66 (Moderado)
Rácio 2d:5d	cm.cm ⁻¹	1.23	0.03	1.23	0.04	-0.41	0.680	0.10 (Trivial)
Rácio 3d:4d	cm.cm ⁻¹	1.08	0.02	1.08	0.03	-0.62	0.540	0.10 (Trivial)
Rácio 3d:5d	cm.cm ⁻¹	1.28	0.04	1.31	0.05	-2.67	0.006	0.68 (Moderado)
Rácio 4d:5d	cm.cm ⁻¹	1.19	0.03	1.21	0.04	-3.15	0.002	0.74 (Moderado)

Nota: DP (desvio padrão); t (p-value); p (p-value); d (Cohen's d-value)

CONCLUSIONS

The regional elite group has longer fingers. Contrarily, their ratios are smaller, including the 2D:4D which is considered a putative indicator of prenatal testosterone. It leads us to predict that young football players in the regional elite group were exposed to higher intrauterine testosterone levels. The 2D:4D appears associated with variation caused by competitive level and, together with other measures of individual athletic potential, justify its consideration in batteries dedicated to identifying talented athletes.