

Anderson Santiago Teixeira

**AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS NEUROMUSCULARES EM  
ADOLESCENTES JOGADORES DE FUTEBOL:**

**Efeitos da idade cronológica, da maturação esquelética e do tamanho  
corporal**

Dissertação de Mestrado apresentada  
ao Programa de Pós-Graduação em  
Educação Física da Universidade  
Federal de Santa Catarina, como  
requisito final para obtenção do título  
de mestre em Biodinâmica do  
Desempenho Humano.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Guilherme  
Antonacci Guglielmo

Florianópolis  
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária  
da UFSC.

Teixeira, Anderson Santiago

Avaliação dos parâmetros neuromusculares em adolescentes jogadores de futebol: efeitos da idade cronológica, da maturação esquelética e do tamanho corporal / Anderson Santiago Teixeira ; orientador, Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo - Florianópolis, SC, 2015.

81 p.

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

Inclui referências

1. Educação Física. 2. Força. 3. Idade esquelética. 4. Isocinético. 5. Jovens atletas. I. Guglielmo, Luiz Guilherme Antonacci . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Física. III. Título.

## AGRADECIMENTOS

**Aos meus pais**, Maria Aparecida Santiago e Rogério José Teixeira, por todo amor, carinho, apoio e ensinamentos. Tudo que faço é pensando em vocês. Serei eternamente grato por todo esforço de vocês para que eu pudesse finalizar mais essa etapa da minha formação acadêmica e profissional. Amos vocês.

**À minha família** (Teixeira e Santiago), por todo o amor e carinho que vocês me passam. Apesar da distância entre nossas cidades, vocês sempre estarão em pensamento comigo.

**Aos meus amigos/irmãos**, de infância/adolescência e da faculdade, gostaria de agradecê-los por toda a ajuda e por sempre me apoiarem em todas as decisões da minha vida. Vocês são essenciais na minha vida. Peço desculpas pela ausência em alguns bons momentos da vida, mas tenham certeza que era por algum motivo maior. Estaremos sempre juntos.

**À minha namorada**, agradeço por toda a sua compreensão, ajuda, paciência e amor. Obrigado por estar ao meu lado, fazendo com que a vida seja mais alegre e tranquila. Sem seu apoio, certamente as conquistas seriam mais difíceis.

**Aos amigos e colegas do LAEF/BIOMEC**, gostaria de maneira geral agradecer todos os membros desses dois laboratórios pelos mais de quatro anos de estudos, ensinamentos, reuniões científicas, trocas de experiência e inúmeras festas/happy-hour (com muito churrasco e/ou cerveja). Durante este período grande amizades foram feitas e outras com certeza foram fortalecidas. Aproveito esse momento para agradecer vocês que sempre se colocaram a disposição para me auxiliar durante os períodos de coleta do mestrado. Em especial, deixo meus sinceros agradecimentos à **Priscila (loirinha)**, **Naia, PC, Pablito, Lucas Loyola, Kristopher, Elisa, Jolmerson e Fran** que foram as minhas caronas amigas durante as coletas do mestrado. Agradeço aos amigos **Bruno, Raphael (Pernambuco), Rodolfo e Jonathan** por todo o suporte durante as avaliações em laboratório, e ao grande amigo **Carminatti** por toda a ajuda e disponibilidade durante as avaliações de campo.

**Ao Luiz Antônio e professor Fernando Diefenthaler**, pelo desenvolvimento das rotinas matemáticas e ajuda durante as análises de

dados. Agradeço ao Raphael Sakugawa que me auxiliou durante essa etapa do projeto também. Sou muito grato por toda a paciência que vocês tiveram comigo. Muito obrigado por tudo.

**Aos membros da banca**, deixo aqui meus agradecimentos por todas as sugestões e contribuições desde o processo de qualificação até a construção da versão final da dissertação.

**Aos treinadores e demais membros da comissão técnica dos clubes** que disponibilizaram os atletas. Agradeço por todo apoio, amizade, ajuda e confiança durante todo o período de avaliações. Também não posso deixar de agradecer imensamente todos os **atletas** pela parceria e seriedade durante as avaliações.

**Ao meu orientador e amigo** professor Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo, por confiar em mim desde o período da graduação e por me dar essa oportunidade única de concluir o mestrado. É um grande prazer trabalhar com o professor. Certamente continuaremos juntos nas próximas etapas acadêmicas. Muito obrigado por permitir vivenciar inúmeras experiências que eu jamais pensei que poderia acontecer quando iniciei o curso de Educação Física. É admirável toda a sua atenção com seus alunos e demais pessoas que fazem parte de sua vida.

**À professora Rosane Rosendo**, por toda a amizade, carinho, ensinamentos e oportunidades. Já falei inúmeras vezes para a professora do quanto foi importante para a minha formação passar todos os anos da graduação trabalhando junto contigo. A professora é e sempre será um grande exemplo como pessoa e professora. Grato por todo incentivo.

**Ao professor Manuel João Coelho-e-Silva**, por realizar a leitura do atual projeto de mestrado lá no início de sua construção fornecendo comentários importantes. Aproveito para agradecer toda a sua paciência e atenção comigo. Grato por tudo.

**À professora Monica Chang Whays e aos outros profissionais do Hospital Universitário**, por todo o auxílio no meu projeto de iniciação científica e, agora no mestrado, durante as avaliações de maturação biológica. Serei sempre grato por toda a ajuda disponibilizada.

**Ao CNPQ**, por todo o suporte e apoio financeiro durante esses dois anos de mestrado.

## RESUMO

**Introdução.** A força muscular e a capacidade de desenvolver força rápida são importantes componentes neuromusculares para o desempenho físico de adolescentes jogadores de futebol. **Objetivo.** Analisar a influência da idade cronológica, da maturação esquelética e do tamanho corporal sobre a produção de torque (isométrico, concêntrico e excêntrico), a taxa de desenvolvimento de torque e a taxa de ativação muscular em adolescentes jogadores de futebol. **Método.** A amostra incluiu 55 jogadores de futebol de dois grupos etários, sub-15 (14,00-14,99 anos; n=25) e sub-16 (15,00-15,99 anos; n=30). Cada jogador foi classificado como atrasado, normomatureo e adiantado na maturidade esquelética baseado na diferença entre a idade esquelética e a idade cronológica. Além disso, os jogadores foram alocados em três grupos de tamanho corporal baseado no próprio valor de massa corporal (MC): menor MC ( $MC < \text{percentil } 33$ ), MC intermediária ( $\text{percentil } 33 > MC < \text{percentil } 66$ ) e maior MC ( $MC > \text{percentil } 66$ ). O pico de torque isométrico ( $PT_{ISO}$ ), concêntrico ( $PT_{CON}$ ), excêntrico ( $PT_{EXC}$ ) e a taxa de desenvolvimento de torque (TDT) dos extensores (<sub>E</sub>) e flexores (<sub>F</sub>) do joelho foram determinados no dinamômetro isocinético. A taxa de ativação muscular isométrica foi avaliada pela eletromiografia de superfície. As comparações entre os diferentes grupos foram realizadas utilizando a análise de variância (ANOVA) *one-way* e a análise de covariância (ANCOVA). O nível de significância de 5% foi considerado para todas as análises estatísticas. **Resultados.** O  $PT_{ISO-E}$ ,  $PT_{ISO-F}$ ,  $PT_{CON-E}$  e  $PT_{EXC-E}$  aumentaram significativamente com a idade cronológica, enquanto o  $PT_{CON-F}$  e o  $PT_{EXC-F}$  não foram diferentes entre os grupos etários. Os jogadores mais pesados tiveram maiores valores de  $PT_{ISO-F}$ ,  $PT_{CON-E}$ ,  $PT_{EXC-E}$ ,  $PT_{CON-F}$  e  $PT_{CON-E}$  comparado aos jogadores com menor MC e MC intermediária. Entretanto, a maturação esquelética não exerceu nenhum efeito sobre a produção do torque, independentemente da ação muscular e do grupo muscular. Jogadores do sub-16 e com maior MC apresentaram maiores valores para a TDT dos extensores do joelho comparado aos jogadores sub-15 e com menor MC, respectivamente. Entretanto, a TDT dos extensores do joelho não variou entre os grupos de maturidade esquelética. Nenhuma diferença significativa foi observada para a TDT dos flexores do joelho e taxa de ativação muscular isométrica entre os grupos etários, maturacionais e de tamanho corporal. **Conclusão.** O efeito da idade cronológica e do tamanho corporal sobre o torque muscular e a TDT em jogadores de

futebol entre 14-15 anos parece ser dependente das ações e dos grupos musculares envolvido no movimento.

**Palavras-chave:** força, idade esquelética, isocinético, jovens atletas e taxa de desenvolvimento de força

## ABSTRACT

**Introduction.** Muscle strength and the ability to develop rapid strength are important neuromuscular components for physical performance of adolescent soccer players. **Purpose.** To analyze the influence of chronological age, skeletal maturation and body size on torque production (isometric, concentric and eccentric), rate of torque development and muscle activation rate in young soccer players. **Method.** The total sample included 55 soccer players of two age groups, under-15 (14,00-14,99 years; n=25) and under-16 (15,00-15,99 years; n=30). Each player was classified as late, average and early skeletally mature based on difference between skeletal and chronological ages. Furthermore, players were allocated in to three body size groups based on your own body mass (BM): lower BM (BM < percentile 33), intermediate BM (percentile 33 < BM < percentile 66) and higher BM (BM > percentile 66). Peak torque during isometric (PT<sub>ISO</sub>), concentric (PT<sub>CON</sub>) and eccentric (PT<sub>ECC</sub>) muscular actions and rate of torque development (RTD) for the knee extensors (E) and flexors (F) were assessed by isokinetic dynamometry. Isometric muscle activation rate was determined by surface electromyography (EMG). Comparisons were made using one-way analysis of variance (ANOVA) and analysis of covariance (ANCOVA). An alpha level of 5% was set for all statistical analyses. **Results.** Under-16 players had higher values for PT<sub>ISO-E</sub>, PT<sub>ISO-F</sub>, PT<sub>CON-E</sub> and PT<sub>EXC-E</sub> compared to their younger peers, whereas no significant differences were observed for PT<sub>CON-F</sub> and PT<sub>EXC-F</sub> between age groups. Heavier players presented consistently higher values for PT<sub>ISO-F</sub>, PT<sub>CON-E</sub>, PT<sub>EXC-E</sub>, PT<sub>CON-F</sub> and PT<sub>CON-E</sub> compared to players with lower and intermediate BM. However, skeletal maturation did not have any influence on torque production, regardless of muscle actions and groups. Under-16 and heavier players showed higher absolute RTD than the under-15 and lighter players during knee extension, respectively. In contrast, RTD during knee extension did not differ among players of contrasting skeletal maturity status. Chronological age, skeletal maturity and body size were not significant sources of variation for RTD during knee flexion and isometric muscle activation rate during both knee extension and flexion. **Conclusion.** The effect of chronological age and body size on torque production and RTD in soccer players aged 14-15 years seem be dependent on both muscle actions and groups involved in the movement.

**Key-words:** isokinetic, rate of torque development, skeletal age, strength and young athletes



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Ilustração dos seis segmentos de cones da perna e a marcação dos locais onde serão realizadas as medidas antropométricas. ....35
- Figura 2.** Valores de effect size entre os grupos etários para os valores de pico de torque isométrico ( $PT_{ISO}$ ), concêntrico ( $PT_{CON}$ ) e excêntrico ( $PT_{EXC}$ ) dos músculos extensores ( $E$ ) e flexores ( $F$ ) do joelho sem incluir e após incluir separadamente a massa corporal e o volume total da coxa estimado como covariável. ....43
- Figura 3.** Taxa de ativação muscular em valores absolutos (a,b) e normalizados pela amplitude máxima do sinal EMG (c,d) no intervalo de tempo entre 0-30ms para os músculos vasto lateral (à esquerda) e bíceps femoral (à direita) entre os grupos etários sub-15 (barras em branco) e sub-16 (barras em preto). ....44
- Figura 4.** Taxa de desenvolvimento de torque (TDT) em valores absolutos (a,b) e relativo ao torque máximo (c,d) no pico e nos intervalos de tempo entre 0-30, 0-50, 0-100, 0-150, 0-200 e 0-250ms para os extensores (à esquerda) e flexores (à direita) do joelho entre os grupos etários sub-15 (barras em branco) e sub-16 (barras em preto). ....45
- Figura 5.** Taxa de ativação muscular em valores absolutos (a,b) e normalizados pela amplitude máxima do sinal EMG (c,d) no intervalo de tempo entre 0-30ms para os músculos vasto lateral (à esquerda) e bíceps femoral (à direita) entre os grupos normomatureo (barras em branco) e adiantado (barras em preto) na maturação esquelética. ....47
- Figura 6.** Taxa de desenvolvimento de torque (TDT) em valores absolutos (média ajustada  $\pm$  erro padrão) no pico e nos intervalos de tempo entre 0-30, 0-50, 0-100, 0-150, 0-200 e 0-250ms para os extensores (a) e flexores (b) do joelho entre os grupos normomatureo (barras em branco) e adiantado (barras em preto) na maturação esquelética após controlar estatisticamente o efeito da idade, da massa corporal e do volume total da coxa estimado. ....47
- Figura 7.** Taxa de ativação muscular em valores absolutos (a,b) e normalizados pela amplitude máxima do sinal EMG (c,d) no intervalo de tempo entre 0-30ms para os músculos vasto lateral (à esquerda) e bíceps femoral (à direita) entre os grupos com variações no tamanho corporal (Menor MC, MC intermediária e Maior MC). ....49
- Figura 8.** Taxa de desenvolvimento de torque (TDT) relativo (média  $\pm$  desvio padrão) no pico e nos intervalos de tempo entre 0-30, 0-50, 0-100, 0-150, 0-200 e 0-250ms para os extensores e flexores do joelho entre os grupos com variações no tamanho corporal (Menor MC, MC intermediária e Maior MC). .51



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Distribuição dos adolescentes jogadores de futebol classificados em diferentes níveis de maturidade esquelética nos dois grupos etários (Sub-15 e Sub-16) da presente amostra. ....	41
Tabela 2. Estatística descritiva (média $\pm$ dp) para as variáveis de maturidade esquelética, tamanho e composição corporal de adolescentes jogadores de futebol, e valores da análise de variância (ANOVA) <i>one-way</i> . ....	41
Tabela 3. Pico de torque (média $\pm$ dp) dos músculos extensores e flexores do joelho durante as ações musculares isométrica, concêntrica e excêntrica entre os grupos etários, valores da ANOVA <i>one-way</i> e effect size. ....	42
Tabela 4. Estatística descritiva (média ajustada $\pm$ erro padrão) para o pico de torque isométrico, concêntrico e excêntrico dos músculos extensores e flexores do joelho entre os grupos maturacionais após controlar os efeitos da idade cronológica, massa corporal e volume total da coxa estimado. ....	46
Tabela 5. Estatística descritiva (média ajustada $\pm$ erro padrão) para o pico de torque isométrico, concêntrico e excêntrico dos músculos extensores e flexores do joelho entre os grupos com variação no tamanho corporal após controlar os efeitos da idade cronológica, da idade esquelética e do volume total da coxa estimado. ....	48
Tabela 6. Taxa de desenvolvimento de torque (TDT) em valores absoluto (média ajustada $\pm$ erro padrão) no pico e nos intervalos de tempo entre 0-30, 0-50, 0-100, 0-150, 0-200 e 0-250ms para os extensores e flexores do joelho entre os grupos com variações no tamanho corporal após controlar os efeitos da idade cronológica, da idade esquelética e do volume total da coxa estimado. ....	50



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTF	Área de secção transversa fisiológica
ADM	Amplitude de movimento
BF	Bíceps femoral
Ca <sup>2+</sup>	Cálcio
CVM	Contração voluntária máxima
EMG	Eletromiografia ou sinal eletromiográfico
F <sub>θ</sub>	Ângulo de penação
MC	Massa corporal
PT <sub>ISO-E</sub>	Pico de torque isométrico dos extensores do joelho
PT <sub>ISO-F</sub>	Pico de torque isométrico dos flexores do joelho
PT <sub>CON-E</sub>	Pico de torque concêntrico dos extensores do joelho
PT <sub>CON-F</sub>	Pico de torque concêntrico dos flexores do joelho
PT <sub>EXC-E</sub>	Pico de torque excêntrico dos extensores do joelho
PT <sub>EXC-F</sub>	Pico de torque excêntrico dos flexores do joelho
PVE	Pico de velocidade em estatura
RMS	<i>Root mean square</i>
TDT	Taxa de desenvolvimento de torque
VL	Vasto lateral



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 SITUAÇÃO PROBLEMA</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 OBJETIVOS</b> .....	<b>4</b>
1.2.1 Objetivo Geral.....	4
1.2.2 Objetivos Específicos.....	4
<b>1.3 HIPÓTESES DO ESTUDO</b> .....	<b>5</b>
<b>1.4 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>5</b>
<b>1.5 VARIÁVEIS DO ESTUDO: CLASSIFICAÇÃO E DEFINIÇÃO</b> .....	<b>6</b>
1.4.1 Variáveis Independentes .....	6
1.4.2 Variáveis Dependentes.....	7
<b>1.6 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO</b> .....	<b>9</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1 CARACTERIZAÇÃO DA DEMANDA DO JOGO DE FUTEBOL</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2 ASPECTOS INTERVENIENTES SOBRE A FORÇA MUSCULAR DE CRIANÇAS E ADOLESCENTES</b> .....	<b>13</b>
2.2.1 Ativação neural durante a infância e adolescência.....	13
2.2.2 Propriedades da arquitetura muscular .....	17
<b>2.3 AVALIAÇÃO DO TORQUE MUSCULAR EM CRIANÇAS E ADOLESCENTES</b> .....	<b>19</b>
2.3.1 Análise da TDT durante a infância e adolescência .....	19
2.3.2 Análise do torque muscular durante a infância e adolescência .....	22
<b>2.4 CRESCIMENTO E MATURAÇÃO BIOLÓGICA</b> .....	<b>25</b>
2.4.1 Avaliação do crescimento .....	26
2.4.2 Avaliação da maturação biológica .....	28
2.4.2.1 Maturação Esquelética.....	28
2.4.2.2 Status de maturidade esquelética de adolescentes jogadores de futebol .....	29
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>32</b>
<b>3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA</b> .....	<b>32</b>
<b>3.2 PARTICIPANTES DA PESQUISA</b> .....	<b>32</b>
<b>3.3 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO</b> .....	<b>33</b>
<b>3.4 COLETAS DE DADOS</b> .....	<b>33</b>
<b>3.5 PROCEDIMENTOS PARA A COLETA DE DADOS</b> .....	<b>34</b>
3.5.1 Protocolo de avaliação antropométrica .....	34
3.5.2 Protocolo para a determinação da maturação esquelética .....	35

3.5.3	Protocolo para avaliação do torque isocinético.....	36
3.5.4	Protocolo para coleta do sinal EMG .....	37
<b>3.6</b>	<b>ANÁLISE DOS DADOS.....</b>	<b>38</b>
3.6.1	Determinação do torque muscular, da TDT e da ativação muscular durante a contração isométrica.....	38
3.6.2	Determinação do torque muscular concêntrico e excêntrico	39
<b>3.7</b>	<b>ANÁLISE ESTATÍSTICA .....</b>	<b>39</b>
<b>4.0</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1</b>	<b>EFEITOS DA IDADE CRONOLÓGICA SOBRE O TORQUE MUSCULAR .....</b>	<b>42</b>
<b>4.2</b>	<b>EFEITOS DA IDADE CRONOLÓGICA SOBRE A TAXA DE ATIVAÇÃO MUSCULAR E A TDT .....</b>	<b>43</b>
<b>4.3</b>	<b>EFEITOS DA MATURAÇÃO ESQUELÉTICA SOBRE O TORQUE MUSCULAR .....</b>	<b>45</b>
<b>4.4</b>	<b>EFEITOS DA MATURAÇÃO ESQUELÉTICA SOBRE A TAXA DE ATIVAÇÃO MUSCULAR E A TDT.....</b>	<b>46</b>
<b>4.5</b>	<b>EFEITOS DO TAMANHO CORPORAL SOBRE O TORQUE MUSCULAR .....</b>	<b>48</b>
<b>4.6</b>	<b>EFEITOS DO TAMANHO CORPORAL SOBRE A TAXA DE ATIVAÇÃO MUSCULAR E A TDT .....</b>	<b>49</b>
<b>5.0</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>52</b>
<b>6.0</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>62</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>79</b>



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Situação Problema

O futebol, similarmente às outras modalidades coletivas, pode ser caracterizado pela realização de múltiplas ações explosivas, acíclicas e intermitentes (BLOOMFIELD et al., 2007; CASTAGNA et al., 2003). Durante a partida, os jogadores são solicitados a realizar frequentes corridas em alta intensidade e *sprints* (CASTAGNA; D'OTTAVIO; ABT, 2003; REBELO et al., 2014), muitas das vezes acompanhadas por mudanças de direção, as quais requerem constantes eventos de desaceleração e aceleração (BLOOMFIELD et al., 2007). Outras ações explosivas, tais como, saltos verticais e chutes também são constantemente executados durante o jogo (KELLIS; KATIS, 2007; WISLØFF et al., 2004). Assim sendo, o padrão de movimento específico do futebol envolve esforços repetitivos e multidirecionais os quais requerem elevada exigência neuromuscular, principalmente de característica excêntrica.

A força muscular de membros inferiores tem sido considerada como um dos fatores determinantes do desempenho físico no futebol (COMETTI et al., 2001; WISLØFF et al., 2004), principalmente pela relação desse componente neuromuscular com o desempenho em sprints e saltos verticais (CHRISTOU et al., 2006; WISLØFF et al., 2004) e com os parâmetros cinemáticos do chute (KELLIS; KATIS, 2007). Além disso, maiores níveis de força muscular contribuem diretamente para a estabilização da articulação nas diferentes tarefas mecânicas realizadas ao longo do jogo, reduzindo os riscos de desenvolvimento de lesões musculares (COMETTI et al., 2001).

Dinamômetros isocinéticos vêm sendo comumente utilizados para a avaliação da função muscular na área de desempenho esportivo (CARVALHO et al., 2012; KELLIS et al., 2001). Essas avaliações em dinamômetros isocinéticos fornecem informações sobre o torque muscular produzido durante ações musculares dinâmicas (concêntrica e excêntrica) em uma condição na qual a velocidade do movimento é controlada e mantida constante (DE STEX CROIX; DEIGHAN; ARMSTRONG, 2003).

Particularmente em populações pediátricas, essas avaliações têm sido propostas para monitorar e acompanhar o desenvolvimento do torque muscular durante o período da infância e da adolescência (DE STE CROIX, 2007; DE STEX CROIX, 2012; DE STEX CROIX; DEIGHAN; ARMSTRONG, 2003). Os estudos têm demonstrado que o

torque muscular concêntrico e excêntrico dos músculos extensores e flexores do joelho em diferentes velocidades angulares aumentam progressivamente com a idade cronológica em crianças e adolescentes não atletas (BASSA; PATIKAS; KOTZAMANIDIS, 2005; DE STEX CROIX et al., 2002; KANEHISA et al., 1994) e atletas (ELLENBECKER et al., 2007; FORBES et al., 2009; HOLM; STEEN; OLSTAD, 2005; KELLIS et al., 2001; WEIR et al., 1999). Além disso, algumas evidências mostram que o torque gerado pelo sistema musculoesquelético pode ser influenciado pelas variações relacionadas à maturação biológica (CARLING; LE GALL; MALINA, 2012; CARVALHO et al., 2012) e ao tamanho corporal (WEIR et al., 1999; DE STE CROIX et al., 2002), de modo que se torna difícil distinguir os efeitos independentes da idade cronológica, da maturação biológica e do tamanho corporal sobre o torque/força muscular.

A maturação biológica é um importante evento que ocorre durante a puberdade, sendo caracterizada por constantes alterações morfológicas e funcionais que interferem diretamente no envolvimento e na capacidade de desempenho esportivo (MALINA; BOUCHARD; BAR-OR, 2004). Embora seja considerado um indicador invasivo, a idade esquelética talvez seja o melhor parâmetro para acompanhar o ritmo maturacional durante as duas primeiras décadas de vida (MALINA, 2011).

Enquanto tem sido bem documentada a influência da maturação biológica sobre diversos componentes físicos determinantes para o desempenho no futebol (e.g. aceleração, velocidade, capacidade de *sprints* repetidos e potência aeróbia) (FIGUEIREDO et al., 2009; MALINA et al., 2004; MENDEZ-VILLANUEVA et al., 2011), as informações ainda são limitadas quanto à avaliação do torque muscular em laboratório em adolescentes jogadores de futebol, especialmente considerando os potenciais efeitos do crescimento e da idade esquelética como um indicador da maturidade biológica. Como implicação prática, a análise do torque muscular e, conseqüentemente, do equilíbrio muscular (razão agonista/antagonista) tem sido uma ferramenta interessante na área de reabilitação e do treinamento, principalmente para auxiliar os profissionais no planejamento de programas de treinamento eficientes para a prevenção de lesões musculares (DE STEX CROIX, 2012; ELLENBECKER et al., 2007; FORBES et al., 2009).

Além do torque muscular, a taxa de desenvolvimento do torque (TDT) tem sido considerada um parâmetro neuromuscular relacionado à capacidade de desenvolver força rápida (AAGAARD et al., 2002). Em

modalidades coletivas, como o futebol, que requerem a realização de constantes ações de característica explosiva (*e.g.*, *sprints* e saltos verticais), a velocidade na qual a TDT consegue ser aumentada torna-se um componente igualmente fundamental a força máxima para o desempenho físico durante o jogo (ANDERSEN; AAGAARD, 2006).

A TDT voluntária aumenta progressivamente com a idade durante a infância e a adolescência (GROSSET et al., 2005; PAASUKE; ERELIN; GAPEYEVA, 2001; PÄÄSUKE; ERELIN; GAPEYEVA, 2000). Em geral, as evidências mais recentes têm se limitado exclusivamente a investigar as diferenças entre crianças e adultos não envolvidos regularmente em programas de treinamento esportivos (DOTAN et al., 2013b; WAUGH et al., 2013). Andersen e Aagaard (2006) mostram que há correlações positivas e significantes, de magnitude muito alta ( $0,7 > r < 0,9$ ), entre a TDT e a força máxima (ou pico de torque), demonstrando que a força máxima pode explicar mais de 50% da variação interindividual na TDT. Como o torque muscular é diretamente relacionado à massa muscular e ao tamanho corporal (MALINA; BOUCHARD; BAR-OR, 2004), é plausível sugerir que a TDT também seja dependente e intimamente associada às variações do tamanho corporal. Além do mais, a capacidade de desenvolver força rápida tem se mostrado dependente do nível de treinamento (GISSIS et al., 2006). Há evidências sugerindo que crianças e adolescentes treinados são capazes de reduzir suas diferenças em relação aos adultos destreinados sobre a cinética de desenvolvimento do torque (DOTAN et al., 2013a).

Portanto, o treinamento pode ser capaz de modular as variações associadas à idade e à maturação esquelética sobre a TDT e outros componentes relacionados à força explosiva (*e.g.* taxa de ativação muscular agonista) em crianças e adolescentes treinados. Entretanto, até o presente momento, nenhum estudo parece ter investigado a relação da idade e da maturação esquelética com a TDT e a taxa de ativação muscular, particularmente durante o período da adolescência em uma amostra de jogadores de futebol bem treinados e com amplas variações no tamanho corporal.

Dessa forma, considerando esses pressupostos, formulou-se a seguinte questão problema: a) jogadores mais velhos, mais adiantados na maturação esquelética e mais pesados seriam mais fortes, e apresentariam também uma TDT e uma taxa de ativação muscular maior que seus respectivos companheiros que treinam e competem dentro da mesma categoria etária?

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo Geral

Analisar a influência da idade cronológica, da maturação esquelética e do tamanho corporal sobre o torque isométrico, concêntrico e excêntrico (dinâmico), a TDT e a ativação muscular do vasto lateral e bíceps femoral durante a ação muscular isométrica em jogadores de futebol.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Determinar e comparar o pico de torque muscular isométrico dos músculos extensores ( $PT_{ISO-E}$ ) e flexores ( $PT_{ISO-F}$ ) do joelho entre os jogadores classificados em diferentes grupos etários, maturacionais e de tamanho corporal.

Determinar e comparar a TDT dos músculos extensores e flexores do joelho entre os jogadores classificados em diferentes grupos etários, maturacionais e de tamanho corporal.

Determinar e comparar a taxa de ativação muscular dos músculos vasto lateral e bíceps femoral durante a ação muscular isométrica entre os jogadores classificados em diferentes grupos etários, maturacionais e de tamanho corporal.

Determinar e comparar o pico de torque muscular concêntrico e excêntrico dos músculos extensores ( $PT_{CON-E}$ ,  $PT_{EXC-E}$ ) e flexores ( $PT_{CON-F}$ ,  $PT_{EXC-F}$ ) do joelho entre os jogadores classificados em diferentes grupos etários, maturacionais e de tamanho corporal.

### 1.3 Hipóteses do estudo

H1: O  $PT_{ISO-E}$  e o  $PT_{ISO-F}$  serão maiores para os jogadores mais velhos, mais adiantados na maturação esquelética e mais pesados em comparação aos seus respectivos companheiros.

H2: A TDT dos extensores e flexores do joelho será maior para os jogadores mais velhos, mais adiantados na maturação esquelética e mais pesados em comparação aos seus respectivos companheiros.

H3: A ativação muscular durante a ação muscular isométrica será maior para os jogadores mais velhos, mais adiantados na maturação esquelética e mais pesados em comparação aos seus respectivos companheiros.

H4: O  $PT_{CON-E}$ ,  $PT_{EXC-E}$ ,  $PT_{CON-F}$  e  $PT_{EXC-F}$  serão maiores para os jogadores mais velhos, mais adiantados na maturação esquelética e mais pesados em comparação aos seus respectivos companheiros.

### 1.4 Justificativa

Atividades predominantes no futebol, tais como *sprints*, saltos, chutes, acelerações e desacelerações, requerem um bom nível de força dos músculos extensores do joelho (*i.e.* quadríceps femoral), especialmente para iniciar o movimento (RAHNAMA et al., 2003). Dessa forma, tem sido sugerido que esse padrão de movimentação específico do futebol pode favorecer ao maior desenvolvimento da força do quadríceps em relação à força dos isquiotibiais (IGA et al., 2009). Dentro desse contexto, a avaliação regular dos níveis de força muscular de adolescentes jogadores de futebol se configura como uma estratégia interessante para se estabelecer valores normativos para essa população, analisar o padrão de desenvolvimento da força, avaliar a eficiência de programas de treinamento e, também, identificar possíveis desequilíbrios musculares que possam comprometer a estabilidade da articulação do joelho.

É conhecido que durante o período da puberdade são visualizadas constantes mudanças em parâmetros morfológicos e em diferentes funções fisiológicas conforme ocorre o aumento da idade e do tamanho corporal. Consequentemente, alterações similares na capacidade de produção da força máxima e da força explosiva em diferentes ações musculares são esperadas, interferindo possivelmente

na capacidade de desempenho esportivo. Entretanto, essas mudanças durante a puberdade ocorrem em ritmos diferentes em adolescentes da mesma idade cronológica, principalmente em função da ampla variabilidade interindividual observada no nível de maturidade biológica (idade esquelética) e nos indicadores de tamanho corporal. Tais variações individuais criam um grande desafio aos treinadores e preparadores físicos em interpretar adequadamente os resultados de desempenho obtido em protocolos específicos para avaliação da função muscular, buscando separar os efeitos independentes do processo de crescimento e maturação biológica daqueles da prática de treinamento sistemático.

A partir de uma perspectiva prática, os achados do presente estudo poderão auxiliar os treinadores e profissionais do esporte a compreender os possíveis fatores intervenientes sobre a produção de força máxima e força explosiva durante o período da adolescência em jogadores de futebol bem treinados de diferentes níveis maturacionais e tamanhos corporais. De acordo com a revisão da literatura, os estudos não têm investigado a relação entre a idade cronológica, a maturação esquelética e o tamanho corporal com a TDT em adolescentes bem treinados. Além disso, conhecendo-se as diferenças na produção de força muscular entre os grupos etários e maturacionais, essas informações poderão nortear e auxiliar na prescrição do treinamento de força visando melhorar os parâmetros neuromusculares relacionados à força máxima e à força explosiva em adolescentes que competem na mesma categoria etária, porém com diferentes ritmos maturacionais.

## **1.5 Variáveis do estudo: classificação e definição**

### 1.4.1 Variáveis Independentes

#### a) Idade cronológica

Operacional: foi determinada a partir da diferença entre a data de nascimento e a data de realização do exame de raio-x de punho e mão esquerda.

#### b) Maturação esquelética

Operacional: foi determinada a partir da comparação da radiografia do punho e mão esquerda do adolescente que foi avaliado com um atlas de radiografias-padrão que correspondem em níveis sucessivos de

maturação esquelética em idades cronológicas específicas utilizando o método Greulich-Pyle.

c) Tamanho corporal

Operacional: foi determinado a partir das medidas de massa corporal de cada jogador utilizando uma balança digital.

1.4.2 Variáveis Dependentes

a) Pico de torque concêntrico dos extensores do joelho

Conceitual: o maior valor de torque obtido pelos músculos extensores do joelho na fase concêntrica do movimento (RODAKI; FOWLER; BENNETT, 2002).

Operacional: foi determinado como o maior valor de torque obtido pelos músculos extensores do joelho na fase concêntrica do movimento de extensão de joelho realizado no dinamômetro isocinético, expresso em N·m.

b) Pico de torque excêntrico dos extensores do joelho

Conceitual: o maior valor de torque obtido pelos músculos extensores do joelho na fase excêntrica do movimento (RODAKI; FOWLER; BENNETT, 2002).

Operacional: foi determinado como o maior valor de torque obtido pelos músculos extensores do joelho na fase excêntrica do movimento de extensão de joelho realizado no dinamômetro isocinético, expresso em N·m.

c) Pico de torque concêntrico dos flexores do joelho

Conceitual: o maior valor de torque obtido pelos músculos flexores do joelho na fase concêntrica do movimento (RODAKI; FOWLER; BENNETT, 2002).

Operacional: foi determinado como o maior valor de torque obtido pelos músculos flexores do joelho na fase concêntrica do movimento de flexão de joelho realizado no dinamômetro isocinético, expresso em N·m.

d) Pico de torque excêntrico dos flexores do joelho

Conceitual: o maior valor de torque obtido pelos músculos flexores do joelho na fase excêntrica do movimento (RODAKI; FOWLER; BENNETT, 2002).

Operacional: foi determinado como o maior valor de torque obtido pelos músculos flexores do joelho na fase excêntrica do movimento de flexão de joelho realizado no dinamômetro isocinético, expresso em N·m.

e) Taxa de desenvolvimento de torque dos extensores do joelho

Conceitual: A taxa de aumento do torque isométrico produzido pelos músculos extensores do joelho em um dado intervalo de tempo a partir do início da contração muscular (AAGAARD et al., 2002).

Operacional: foi determinado a partir da razão entre a variação do torque pela variação do tempo, expresso em  $N \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ .

f) Taxa de desenvolvimento de torque dos flexores do joelho

Conceitual: A taxa de aumento do torque isométrico produzido pelos músculos flexores do joelho em um dado intervalo de tempo a partir do início da contração muscular (AAGAARD et al., 2002).

Operacional: foi determinado a partir da razão entre a variação do torque e a variação do tempo, expresso em  $N \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ .

g) Pico de torque isométrico dos extensores do joelho

Conceitual: o maior valor de torque obtido pelos músculos extensores do joelho durante a ação muscular isométrica (THORLUND et al., 2009).

Operacional: foi determinado como o maior valor de torque obtido pelos músculos extensores do joelho durante a realização de uma contração voluntária máxima isométrica, expresso em N·m.

h) Pico de torque isométrico dos flexores do joelho

Conceitual: o maior valor de torque obtido pelos músculos flexores do joelho durante a ação muscular isométrica (THORLUND et al., 2009).

Operacional: foi determinado como o maior valor de torque obtido pelos músculos flexores do joelho durante a realização de uma contração voluntária máxima isométrica, expresso em N·m.



### i) Taxa de ativação muscular

Conceitual: a taxa de aumento do sinal EMG durante a ação agonista dos músculos vasto lateral e bíceps femoral durante a ação muscular isométrica (AGAARD et al., 2002).

Operacional: foi determinada considerando a inclinação da curva EMG-tempo a partir do sinal EMG detectado no músculo vasto lateral e bíceps femoral durante os primeiros 30ms a partir do início de aumento da atividade elétrica, expresso em  $\mu\text{Volt}\cdot\text{s}^{-1}$ .

## 1.6 Delimitação do estudo

O presente estudo delimitou-se a analisar a influência da idade cronológica, da maturação esquelética e do tamanho corporal sobre o torque isométrico, concêntrico e excêntrico (dinâmico), a TDT e a ativação muscular do vasto lateral e bíceps femoral durante a ação muscular isométrica em jogadores de futebol.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Com a finalidade de fundamentar o estudo e subsidiar a discussão dos resultados, foram selecionados os seguintes tópicos listados abaixo para compor a revisão de literatura.

### 2.1 Caracterização da demanda do jogo de futebol

A demanda física do jogo de futebol (*time-motion analysis*) tem sido bem caracterizada em adultos (BANGSBO; NØRREGAARD; THORSØ, 1991; DI SALVO et al., 2007a; RAMPININI et al., 2007) e adolescentes (BUCHHEIT et al., 2010b; CASTAGNA; D'OTTAVIO; ABT, 2003) atuando em diferentes níveis competitivos. Ainda, os estudos têm apontado que essa demanda física é diretamente dependente do próprio nível de competição, da equipe adversária (DI SALVO et al., 2009), da posição do jogador (DI SALVO et al., 2007b), da idade (BUCHHEIT et al., 2010b), do *status* maturacional (GASTIN; BENNETT; COOK, 2013) e do sexo (VESCOVI, 2012).

A intensidade do jogo de futebol tem sido quantificada a partir da distância percorrida em diferentes categorias de intensidade (indicador de carga externa) ou por meio do comportamento da resposta

da frequência cardíaca (indicador de carga interna) (BUCHHEIT et al., 2010b; MENDEZ-VILLANUEVA et al., 2013). Particularmente, em adolescentes jogadores de futebol (entre 13 a 18 anos), os estudos têm demonstrado que a distância total percorrida durante o jogo fica entre 7 e 9 km, as quais aproximadamente 10 a 15% são realizadas em esforços de alta intensidade (corridas acima de  $13,1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) (BUCHHEIT et al., 2010b; CASTAGNA; D'OTTAVIO; ABT, 2003; REBELO et al., 2014). Considerando a análise da resposta da frequência cardíaca (FC) durante os dois tempos de partida, os estudos têm observado valores médios entre 85-90% da FC máxima (CASTAGNA et al., 2009, 2010; MENDEZ-VILLANUEVA et al., 2013), os quais têm sido estimados a representar uma intensidade correspondente de 75-80% do consumo máximo de oxigênio ( $\text{VO}_2\text{max}$ ) (STRØYER; HANSEN; KLAUSEN, 2004).

Durante a partida, tem sido demonstrado que podem acontecer até 200-250 corridas em alta intensidade por jogador com uma duração média de 2-3 s (ANDERSSON; EKBLUM; KRUSTRUP, 2008; BUCHHEIT et al., 2010a). Além disso, é possível que o número de sprints ou corridas de esforços máximos variem entre 25-40 repetições (CASTAGNA; D'OTTAVIO; ABT, 2003; REBELO et al., 2014), os quais são especificamente realizados em distâncias mais curtas (0-10 m) que em distâncias mais longas ( $> 10 \text{ m}$ ) (DI SALVO et al., 2010). Em média, o tempo de recuperação entre os sprints durante um jogo de futebol é de 90s (STØLEN et al., 2005), embora seja evidente que esse tempo de recuperação durante os 5 minutos mais intensos da partida pode reduzir para 30s entre cada sprint (DI MASCIO; BRADLEY, 2013).

É importante destacar que essas ações de alta intensidade (e.g. *sprints*) requerem que os jogadores realizem inúmeras acelerações e desacelerações forçadas, as quais na maior parte das vezes são acompanhadas por mudanças de direções (BLOOMFIELD et al., 2007). Por exemplo, Bloomfield et al. (2007) observaram que durante uma partida podem ocorrer até 514 eventos de desacelerações com duração média de 0,82s, sendo que 76,9% dessas desacelerações são realizados após *sprints* e 41,6% das ações realizadas após essas desacelerações são classificadas como atividades de alta intensidade. De maneira complementar, é bem documentado que as características de locomoção durante o jogo são altamente irregulares e classificadas como não convencionais, as quais compreendem saltos, corridas de costas e deslocamentos laterais (CASTAGNA; D'OTTAVIO; ABT, 2003). Com essas considerações, é possível argumentar que os jogadores durante a

partida, na maioria das vezes, podem iniciar os *sprints*, as corridas em alta intensidade e as mudanças de direções a partir de posições desfavoráveis para a execução do gesto motor (BLOOMFIELD; POLMAN; O'DONOGHUE, 2007). Dessa forma, pode-se evidenciar que o padrão de atividade durante o jogo de futebol é composto por inúmeras atividades de característica explosiva, as quais requerem ações musculares concêntricas e excêntricas (BLOOMFIELD et al., 2007).

O uso de partidas amigáveis ou protocolos de corrida específicos para simular a demanda do jogo de futebol tem sido um dos procedimentos adotados em recentes investigações com o propósito de caracterizar as respostas fisiológicas e conhecer quais são as implicações dessa demanda física sobre diferentes parâmetros metabólicos e neuromusculares (GREIG, 2008; RAHNAMA et al., 2003; THORLUND; AAGAARD; MADSEN, 2009).

Particularmente em relação aos parâmetros neuromusculares, reduções na força muscular após a realização de protocolos de corrida específicos para simular a demanda do jogo de futebol tem sido evidenciada a partir da diminuição nos valores de pico de torque concêntrico e excêntrico dos músculos extensores e flexores do joelho (CAMARDA; DENADAI, 2012; DELETRAT; GREGORY; COHEN, 2010; GREIG, 2008; RAHNAMA et al., 2003). Tem sido reportado que a fadiga muscular (*i.e.* redução na força máxima exercida por um músculo ou grupo muscular) durante uma partida de futebol pode ser modulada pelo nível de treinamento (GREIG, 2008) e estado inicial de equilíbrio da força muscular do atleta (CAMARDA; DENADAI, 2012). Interessantemente, a redução da força muscular concêntrica dos músculos extensores e flexores do joelho (8 a 15%) parecem ser dependentes da velocidade angular do movimento ( $60^{\circ}\cdot s^{-1} > 120^{\circ}\cdot s^{-1} = 180^{\circ}\cdot s^{-1} = 300^{\circ}\cdot s^{-1}$ ) (CAMARDA; DENADAI, 2012; RAHNAMA et al., 2003). Similarmente, Greig (2008) observou que as reduções significativas nos valores de pico de torque excêntrico dos músculos isquiotibiais podem também ser dependentes da velocidade angular do movimento, porém com a magnitude da perda de força sendo maior nas velocidades angulares mais altas ( $300^{\circ}\cdot s^{-1} = 24\%$ ;  $120^{\circ}\cdot s^{-1} = 19\%$ ;  $60^{\circ}\cdot s^{-1} = 18\%$ ). Como consequência, as razões convencional (Icon:Qcon) e funcional (Iexc:Qcon) tem sido afetada ao longo da partida (CAMARDA; DENADAI, 2012; DELETRAT; GREGORY; COHEN, 2010; RAHNAMA et al., 2003). Esses primeiros achados trazem duas informações importantes que nos permite compreender melhor o efeito da fadiga induzida pela demanda física do jogo de futebol sobre os parâmetros neuromusculares. Primeiro, o maior declínio da força

muscular concêntrica em velocidades angulares mais baixas pode ter um impacto negativo para o desempenho do atleta durante o jogo, especialmente para executar aquelas ações de característica mais explosivas (e.g., saltos, *sprints* e mudanças de direções), pois essas tarefas requerem maior força do quadríceps femoral para realizar o início do movimento (RAHNAMA et al., 2003). Segundo, a maior redução da força excêntrica dos músculos flexores do joelho (18 a 36%) em relação à força concêntrica dos extensores do joelho (8 a 15%) sugere que os músculos isquiotibiais, os quais atuam excentricamente durante o *sprint* e o chute para desacelerar o movimento da coxa e da perna antes do contato do pé com o solo, estão mais susceptíveis a desenvolver alguma lesão muscular, especialmente em velocidades angulares de movimento mais altas (DELETRAT; GREGORY; COHEN, 2010; GREIG, 2008). Alguns estudos têm sugerido que essas lesões dos músculos isquiotibiais tendem a ocorrer principalmente durante os últimos estágios de cada tempo da partida e nos minutos iniciais do segundo tempo (PRICE et al., 2004; WOODS et al., 2004), talvez como consequência da menor capacidade dos flexores do joelho em trabalhar excentricamente durante esses períodos da partida (GREIG, 2008; RAHNAMA et al., 2003).

Considerando que algumas das tarefas mais importantes realizadas durante o jogo de futebol, tais como chutes, acelerações e *sprints* envolvem tempos de contração muscular entre 50 e 250ms (AAGAARD et al., 2002), poucos estudos têm quantificado o impacto dessas tarefas dinâmicas sobre a função neuromuscular durante a realização de ações musculares de característica “explosiva” em atletas de esportes coletivos (THORLUND; AAGAARD; MADSEN, 2009; THORLUND et al., 2008). Em um estudo com nove jogadores de futebol ( $17,6 \pm 0,8$  anos), Thorlund et al. (2009) observaram reduções na ordem de 7-8% e 9% para a TDT muscular para os extensores e flexores do joelho, respectivamente. Similarmente, o nível de ativação muscular avaliado por meio do sinal eletromiográfico, principalmente dos músculos flexores de joelho, durante os períodos iniciais (0-200ms) de produção do torque muscular se mostra diminuído (29-31%) após uma partida oficial de futebol. Esses achados em conjunto com os resultados de prévios estudos sugerem que a fadiga neuromuscular relacionada à partida pode ser determinada por uma combinação de fatores periféricos e centrais (RAMPININI et al., 2011).

Embora o presente estudo não tenha por objetivo investigar os efeitos da fadiga induzida pelo jogo sobre os parâmetros neuromusculares, acredita-se que seja relevante conhecer a demanda

física imposta pelo jogo sobre os parâmetros neuromusculares. Portanto, baseado nesse suporte teórico prévio da literatura, torna-se evidente a importância de avaliar a capacidade de produção do torque e da TDT desde o período da adolescência, uma vez que a demanda física do jogo de futebol em jovens jogadores é em termos relativo similarmente àquela experimentada pelos adultos profissionais.

## **2.2 Aspectos intervenientes sobre a força muscular de crianças e adolescentes**

Neste tópico, alguns aspectos neuromusculares intervenientes sobre a força muscular de crianças e adolescentes, como a ativação neural e as propriedades da arquitetura muscular serão brevemente abordados com intuito de compreender os mecanismos que possam explicar a variação da força muscular entre crianças e adolescentes.

### **2.2.1 Ativação neural durante a infância e adolescência**

O trato corticoespinal passa por um processo de maturação contínua durante os primeiros 10 anos de idade e então permanece estável (SMITS-ENGELSMAN; WESTENBERG; DUYSSENS, 2003). Entretanto, algumas evidências têm demonstrado que a maturação neural das vias motoras do trato corticoespinal é completada em torno de 11 e 13 anos (KOH; EYRE, 1988; NEZU et al., 1997). Portanto, esses achados iniciais têm sugerido que todo o processo de ativação neural a partir dessa idade passa a adquirir um padrão similar aos observado em adultos (KOH; EYRE, 1988; NEZU et al., 1997).

Atualmente é possível avaliar o processo de ativação neural por meio de duas diferentes abordagens: técnica do *twitch* interpolado (ativação neural induzida) ou análise de eletromiografia de superfície (ativação neural voluntária) (BASSA et al., 2013).

Interessantemente, a técnica de estimulação elétrica ou magnética utilizada para induzir *twitches* involuntários pode ser adotada para medir o nível de ativação voluntária das unidades motoras e a capacidade de produção de força do músculo sem ser influenciado pela habilidade motora ou motivação do participante (GROSSET et al., 2008; O'BRIEN et al., 2009; PÄÄSUKE; ERELIN; GAPEYEVA, 2000).

Utilizando a técnica do *twitch* interpolado, Belanger e McComas (1989) mostraram que crianças a partir dos 6 anos já conseguem ativar completamente as unidades motoras do músculo tibial anterior. Nesse mesmo estudo não foram observadas diferenças entre

crianças (6-13 anos) e adolescentes (15-18 anos) para o nível de ativação das unidades motoras dos músculos responsáveis pela flexão plantar ( $94,0 \pm 11,3$  vs.  $99,4 \pm 1,8$  %, para crianças e adolescentes, respectivamente). Por outro lado, Grosset et al. (2008) comparando o nível de ativação voluntária das unidades motoras, expressado como déficit de ativação, do tríceps sural de crianças entre 7 e 11 anos e adultos visualizaram diferenças somente entre crianças de 7 e 8 anos de idade comparado aos adultos. Na mesma perspectiva desses achados, outros estudos utilizando estimulação elétrica e magnética encontraram que a ativação das unidades motoras dos músculos extensores do joelho de crianças pré-púberes (9 anos) e adolescentes (13 anos) é relativamente menor que os valores observados em adultos (O'BRIEN et al., 2009, 2010a; STRECKIS; SKURVYDAS; RATKEVICIUS, 2007). Recentemente, Dotan et al. (2012) durante uma revisão na qual discute os possíveis mecanismos que explicam as diferenças encontradas na ativação muscular entre crianças e adultos se posicionaram levantando uma hipótese mais específica em relação a essa temática. Em particular, esses autores especulam que a menor ativação neuromuscular visualizada em crianças quando comparado aos adultos é devido à incapacidade da criança em recrutar ou utilizar totalmente as unidades motoras do tipo II na mesma proporção visualizada em adultos (DOTAN et al., 2012). Entretanto, de acordo com o comentário realizado por Bassa et al. (2013) ainda não é possível aceitar ou rejeitar essa hipótese levantada por Dotan et al. (2012), uma vez que as técnicas experimentais utilizadas atualmente (estimulação elétrica, magnética e transcraniana) não nos permitem confirmar essa suposição. Embora as evidências mostrem uma capacidade reduzida de crianças recrutarem totalmente o *pool* de unidades motoras em relação os adultos, O'Brien et al. (2010) encontraram que o nível de ativação voluntária parece explicar somente 7% da diferença do pico de torque dos músculos extensores do joelho entre crianças e adultos durante uma contração isométrica voluntária máxima. Esse resultado, por sua vez, não permite estabelecer que as diferenças na ativação neural das unidades motoras seja o principal mecanismo que explique as variações na produção de força entre crianças e adultos como previamente mencionado por Dotan et al. (2012).

Em relação à capacidade de produção de força analisada a partir do pico de torque induzido por estimulação elétrica, os estudos têm mostrado que aumenta linearmente até o final da puberdade (por volta dos 15-16 anos) e então passa a adquirir valores similares aos de adultos (BELANGER; MCCOMAS, 1989; DAVIES; WHITE; YOUNG, 1983;

GROSSET et al., 2005; MCCOMAS; SICA; PETITO, 1973; PÄÄSUKE; ERELIN; GAPEYEVA, 2000). Por outro lado, ainda que alguns estudos relatem resultados controversos quando comparações são realizadas entre as crianças, os adolescentes e os adultos (BELANGER; MCCOMAS, 1989; DAVIES; WHITE; YOUNG, 1983), estudos mais recentes têm sugerido que o tempo de contração muscular e o meio tempo de relaxamento entre esses grupos não diferem (GROSSET et al., 2005; PÄÄSUKE; ERELIN; GAPEYEVA, 2000). Nesses estudos, é possível observar um comportamento constante dessas variáveis durante o período da infância, adolescência e vida adulta. Considerando que essas medidas relacionadas ao curso de tempo da contração muscular fornecem informações indiretas sobre a distribuição dos tipos de fibras musculares (GROSSET et al., 2005) e de respostas intracelulares relacionadas à contração muscular (*e.g.* cinética do  $Ca^{2+}$ , atividade da enzima ATPase e formação das pontes cruzadas) (PÄÄSUKE; ERELIN; GAPEYEVA, 2000), os autores têm sugerido que existe uma similaridade e estabilidade no perfil de composição das fibras musculares e dessas respostas intracelulares durante o processo de crescimento, baseando-se nos resultados descritos anteriormente (DAVIES; WHITE; YOUNG, 1983; GROSSET et al., 2005; PÄÄSUKE; ERELIN; GAPEYEVA, 2000).

Alternativamente, a análise de eletromiografia de superfície tem sido utilizada para avaliar o nível de ativação muscular a partir de um esforço voluntário, no qual determinado músculo ou grupo muscular atua como agonista ou antagonista do movimento (AAGAARD et al., 2002; BASSA et al., 2013; DOTAN et al., 2012; WAUGH et al., 2013). Entretanto, ressalta-se que a natureza e amplitude do sinal detectado a partir desse método podem ser afetadas pelo tamanho muscular e pela espessura do tecido subcutâneo e da pele (BASSA et al., 2013; DOTAN et al., 2012).

A taxa de ativação muscular durante tarefas máximas, em especial durante ações isométricas, tem sido avaliada por alguns estudos a partir de um índice conhecido como Q30 (*i.e.* análise do sinal eletromiográfico durante os primeiros 30ms da atividade eletromecânica) (COHEN et al., 2010; FALK et al., 2009; MITCHELL et al., 2011). Presumidamente, esses autores atribuem que a maior atividade eletromiográfica imediatamente após o início de uma ação isométrica voluntária máxima, evidenciada a partir desse índice Q30, pode fornecer informações indiretas relacionadas ao maior envolvimento e recrutamento das unidades motoras do tipo II. Os resultados disponíveis na literatura tem sido consistentes em mostrar que

crianças apresentam um menor valor desse índice Q30 em relação aos adultos para os músculos extensores e flexores do joelho (COHEN et al., 2010) e do cotovelo (FALK et al., 2009). Tais evidências reforçam ainda mais os achados prévios de outros estudos (BELANGER; MCCOMAS, 1989; GROSSET et al., 2008; O'BRIEN et al., 2009, 2010a; STRECKIS; SKURVYDAS; RATKEVICIUS, 2007), os quais indicam que crianças podem apresentar algum déficit de ativação neuromuscular em relação aos adultos.

No que se refere à ativação muscular antagonista em contrações isométricas, os estudos têm demonstrado nenhuma diferença entre crianças, adolescentes e adultos no índice de coativação antagonista durante a extensão e flexão do joelho (COHEN et al., 2010) e do cotovelo (FALK et al., 2009), e durante a flexão plantar do tornozelo (MORSE et al., 2008). Em contrapartida, Grosset et al. (2008) observaram uma redução gradual na atividade muscular antagonista (*i.e.* dorsiflexores) de crianças entre 7 e 11 anos em relação aos adultos durante a flexão plantar isométrica máxima do tornozelo. Durante ações musculares dinâmicas (concêntrica e excêntrica), Bassa; Patikas; Kotzamanidis (2005) encontraram que não houve diferença entre crianças pré-púberes e adultos na atividade muscular antagonista durante contrações concêntricas e excêntricas, em diferentes velocidades angulares ( $45^{\circ}\cdot s^{-1}$ ,  $90^{\circ}\cdot s^{-1}$  e  $180^{\circ}\cdot s^{-1}$ ) para os músculos extensores e flexores de joelho.

A partir das informações obtidas nesses estudos mencionados acima é possível sugerir o seguinte:

- Crianças, especialmente meninos, apresentam um maior déficit de ativação neuromuscular somente durante a infância, e esta diferença relacionada à idade não parece ser evidente durante a puberdade. Enquanto, a mesma relação não parece ser verdade para meninas.
- As propriedades contráteis (tempo de contração muscular e meio tempo de relaxamento) de crianças e adultos são similares, sugerindo que não existem diferenças na composição das fibras musculares e nas respostas intracelulares relacionadas à contração muscular entre esses grupos.
- As diferenças na atividade muscular antagonista (coativação) entre as crianças, os adolescentes e os adultos e sua relação com as variações na força muscular durante contrações isométricas e dinâmicas ainda parecem ser controversas.



## 2.2.2 Propriedades da arquitetura muscular

A arquitetura muscular tem sido definida como o arranjo macroscópico das fibras musculares dentro de um músculo em relação ao seu eixo de geração de força (LIEBER; FRIDÉN, 2001). De acordo com Lieber e Fridén (2001), a arquitetura muscular pode ser considerada o determinante primário da função muscular. Em particular, os principais parâmetros da arquitetura muscular são o ângulo de penação ( $F_{\theta}$ ), a área de secção transversa fisiológica do músculo (ASTF), a espessura muscular e o comprimento do fascículo (LIEBER; FRIDÉN, 2001). O  $F_{\theta}$  e a ASTF estão diretamente relacionados à máxima força de contração, enquanto que o comprimento do fascículo é positivamente relacionado com a velocidade de contração do músculo (BINZONI et al., 2001). Tem sido demonstrado que o  $F_{\theta}$ , a ASTF, a espessura muscular e o comprimento do fascículo podem variar em função da idade (BÉNARD et al., 2011; BINZONI et al., 2001; O'BRIEN et al., 2010a), do comprimento muscular e da intensidade da contração muscular (KANNAS et al., 2010), do músculo analisado (KAWAKAMI et al., 2006), do sexo (CHOW et al., 2000), do tipo de treinamento físico (BLAZEVICH, 2006) e de diferentes condições patológicas (MOHAGHEGHI et al., 2008).

Brevemente, a ASTF tem sido tradicionalmente obtida a partir da razão entre o volume muscular e o comprimento do fascículo (LIEBER; FRIDÉN, 2001). Por sua vez, o comprimento do fascículo tem sido definido como a distância entre as inserções do fascículo sobre as aponeuroses profunda e superficial, enquanto a espessura muscular é caracterizada pela distância linear entre a aponeurose profunda e superficial (KANNAS et al., 2010; MORSE et al., 2008).

A análise de parâmetros relacionados à arquitetura muscular durante o processo de crescimento e desenvolvimento humano tem sido bem documentada recentemente (BÉNARD et al., 2011; BINZONI et al., 2001; KANNAS et al., 2010; KAWAKAMI et al., 2006; MOHAGHEGHI et al., 2008) Estes estudos têm procurado compreender como esses componentes relacionados à arquitetura muscular se desenvolve durante as duas primeiras décadas de vida. Tais evidências têm fornecido informações interessantes para explicar, pelo menos em parte, as variações interindividuais na produção de força isométrica e dinâmica comumente observada durante o período da infância e adolescência (BÉNARD et al., 2011).

O  $F_{\theta}$  caracterizado como o ângulo de inserção das fibras musculares em relação à aponeurose profunda reflete a quantidade de

tecido contrátil por unidade de área muscular (LIEBER; FRIDÉN, 2001). Como consequência é esperado que os músculos com valores mais amplos de  $F_0$  produzam maior força mecânica. Durante o processo de crescimento, observa-se que o  $F_0$  do músculo gastrocnêmio medial aumenta progressivamente até o período de estirão do crescimento e alcança valores similares aos de adultos ao final da puberdade (15-16 anos) em direção a vida adulta (BINZONI et al., 2001), seguindo o mesmo padrão de crescimento de outras variáveis como a estatura e a massa corporal. Na mesma direção desses achados, Kannas et al. (2010) encontraram maiores valores de  $F_0$  para o músculo gastrocnêmio medial em adultos (19,0 anos) comparado às crianças (11,0 anos). Esse aumento do  $F_0$  tem sido diretamente atribuído às constantes modificações visualizadas na espessura muscular durante o processo de crescimento (BINZONI et al., 2001). Por outro lado, esse aumento do  $F_0$  não tem sido evidenciado por outros estudos mais recentes quando os músculos gastrocnêmios (BÉNARD et al., 2011; MORSE et al., 2008) e reto femoral, vasto lateral, vasto medial e vasto intermédio (O'BRIEN et al., 2010a) foram analisados. Diante dessas observações consultadas a partir da literatura científica, parece não existir diferenças nos valores de  $F_0$  dos músculos que constituem o quadríceps femoral quando crianças, adolescentes e adultos sem nenhuma patologia diagnosticada são comparadas (O'BRIEN et al., 2010a). Entretanto, quando os músculos gastrocnêmios são analisados, os resultados são ainda controversos no que se refere à influência do processo de crescimento sobre o desenvolvimento do  $F_0$  (BÉNARD et al., 2011; BINZONI et al., 2001; KANNAS et al., 2010; MORSE et al., 2008).

Em relação aos outros componentes da arquitetura muscular, tais como a ASTF, volume muscular, espessura muscular e comprimento do fascículo, os estudos têm mostrado variações consistentes entre o período da infância, adolescência e vida adulta (BÉNARD et al., 2011; BINZONI et al., 2001; KANNAS et al., 2010; MORSE et al., 2008; O'BRIEN et al., 2010a). Considerando os resultados obtidos a partir do estudo realizado por Bénard et al. (2011) é possível observar que todas as variáveis referentes à geometria muscular dos músculos gastrocnêmios de crianças de ambos os sexos entre 5 e 12 anos aumentaram significativamente com a idade. Brevemente, os autores relataram um aumento de 6% ao ano (1 cm/ano) para o comprimento do ventre muscular e que esse aumento ocorria de maneira proporcional ao aumento no comprimento da tíbia. Ainda de acordo com os autores, o aumento no comprimento do fascículo (5% ao ano ou 0,2 cm/ano) e da ASTF (9% ao ano) parece ter contribuído,

respectivamente, com 20% e 80% para explicar o aumento no comprimento do ventre muscular durante a infância e início da puberdade. Entre outros resultados evidenciados nesse estudo estão também o aumento na ordem de 7% ao ano (ou 0,8 cm/ano) para o comprimento da aponeurose e 8% ao ano (ou 0,9 cm/ano) para o comprimento do tendão. É interessante ressaltar que esses achados ficam restritos e limitados à variação cronológica (5 a 12 anos) deste estudo. Entretanto, pode-se especular que essas variáveis relacionadas à arquitetura muscular apresentam uma tendência de continuar aumentando após os 12 anos de idade até a fase final da puberdade (por volta dos 15-16 anos), e passam a adquirir posteriormente um comportamento mais estável em direção ao início da vida adulta.

Considerando esses resultados prévios, torna-se evidente as alterações nas propriedades de arquitetura muscular durante o processo de crescimento, as quais implicam conseqüentemente em diferenças contrastantes na função e força muscular de crianças, adolescentes e adultos durante as ações musculares isométricas e dinâmicas (concêntrica e excêntrica). Recentes estudos têm descrito achados interessantes que podem ampliar nossa compreensão sobre os possíveis mecanismos que explicam essas variações na capacidade de produção de força entre jovens e adultos (veja MORSE et al., 2008; O'BRIEN et al., 2010a). Como perspectiva, novos estudos poderiam investigar a influência do estado maturacional sobre os diferentes parâmetros relacionados à arquitetura muscular e, conseqüentemente, a relação dessas diferenças com as variações na força muscular de adolescentes treinados e não treinados em diferentes estados maturacionais, porém com a mesma idade cronológica.

## **2.3 Avaliação do torque muscular em crianças e adolescentes**

Neste tópico da revisão de literatura será descrito as variações relacionadas à idade e à maturação biológica sobre a TDT e o torque muscular durante as ações musculares isométricas, concêntricas e excêntricas.

### **2.3.1 Análise da TDT durante a infância e adolescência**

A TDT tem sido utilizada como um índice relacionado à capacidade de produzir força rápida, podendo ser definida como a taxa de incremento do torque muscular durante a fase inicial da CVM a partir da análise da curva torque-tempo (AAGAARD et al., 2002). Estudos

prévios analisando o comportamento da tensão produzida pelo músculo inteiro ou pela fibra muscular isolada têm demonstrado que a TDT pode representar indiretamente a cinética de liberação do cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) intracelular (HARRIDGE et al., 1996; PATEL; DIFFEE; MOSS, 1996). Como esses processos intracelulares contribuem amplamente para o aumento da TDT, a análise da variação do torque em função do tempo tem sido considerada um importante indicador das propriedades contráteis do músculo (GROSSET et al., 2005). A partir dessas considerações iniciais, estudos têm sugerido que adicionalmente aos aspectos morfológicos (e.g., tipo de fibra muscular e área de secção transversa do músculo), os componentes mecânicos (e.g., propriedades viscoelástica do tendão) e neurais (e.g., drive neural eferente) também são fatores determinantes para a TDT (AAGAARD et al., 2002; ANDERSEN et al., 2010; WAUGH et al., 2013).

É bem estabelecido que a TDT voluntária quando analisada em diferentes intervalos de tempo a partir do início da contração muscular parece ser afetado por diferentes parâmetros fisiológicos (ANDERSEN; AAGAARD, 2006). Enquanto a TDT obtida nos intervalos de tempo mais iniciais (< 50ms) parece ser dependente das propriedades contráteis intrínsecas do músculo analisada por meio da técnica de estimulação elétrica (e.g. composição da fibra muscular e cinética do  $\text{Ca}^{2+}$ ) e drive neural eferente, a TDT analisada nas fases finais da taxa de incremento do torque muscular (> 150-200ms) parece ser intimamente relacionada ao pico de torque muscular durante a CVM isométrica (ANDERSEN; AAGAARD, 2006).

Os estudos de maneira em geral têm mostrado que a TDT aumenta progressivamente durante a infância e adolescência (GROSSET et al., 2005; PAASUKE; ERELINE; GAPEYEVA, 2001; WAUGH et al., 2013). Conforme seria esperado, as evidências apontam que os valores absolutos da TDT pico e da TDT analisada em diferentes intervalos de tempo são significativamente menores em crianças quando comparado aos adolescentes e adultos independentemente do estado de treinamento (COHEN et al., 2010; DOTAN et al., 2013b; GROSSET et al., 2005; MITCHELL et al., 2011; PAASUKE; ERELINE; GAPEYEVA, 2001). Como a TDT está diretamente relacionada com o torque máximo obtido durante a CVM, tem sido recomendado por diversos autores que o valor absoluto da TDT seja normalizado pela força máxima com o objetivo de remover a influência desse parâmetro fisiológico sobre a TDT, principalmente quando participantes de diferentes idades ou tamanhos corporais são comparados (COHEN et al., 2010; DOTAN et al., 2013b; GROSSET et al., 2005; MITCHELL et

al., 2011; PAASUKE; ERELIN; GAPEYEVA, 2001). Mesmo após essa normalização, os estudos têm observado que crianças ainda apresentam uma menor TDT em relação aos adultos, embora a magnitude dessa diferença seja reduzida (COHEN et al., 2010; MITCHELL et al., 2011). Recentemente, Dotan et al. (2013b) realizaram um estudo com o objetivo de investigar se as diferenças na função muscular entre crianças e adultos poderia ser visualizada a partir da análise da cinética do torque muscular de flexores de cotovelo e extensores do joelho durante uma CVM isométrica. Os autores tinham como hipótese central do estudo que crianças apresentariam uma menor cinética no desenvolvimento do torque muscular em relação aos adultos. Interessantemente, pode-se observar com os resultados que crianças além de apresentarem um menor valor de pico de torque isométrico durante a flexão de cotovelo e extensão de joelho em relação aos adultos possuem também um menor torque muscular nos 100ms iniciais da contração e demoram mais tempo para alcançar a TDT pico ou um determinado percentual fixo do pico de torque durante a CVM (e.g. 30% e 80% da CVM). Esses resultados segundo os autores do estudo podem fornecer evidências indiretas para sustentar a hipótese proposta por Dotan et al. (2012), em que a menor TDT evidenciada em crianças pode ser atribuída pela capacidade reduzida que elas apresentam na taxa de ativação muscular, em especial no recrutamento e utilização das unidades motoras do tipo II.

No entanto é possível levantar outros fatores determinantes da TDT, os quais podem também explicar pelo menos em parte as diferenças na capacidade de produção de força rápida entre crianças e adultos. Ainda que um pouco especulativo, crianças apresentam um menor comprimento de fascículo muscular em relação aos adultos (BÉNARD et al., 2011; KANNAS et al., 2010; MORSE et al., 2008), o que representaria números menores de sarcômeros dispostos em série e como consequência o músculo teria uma velocidade de encurtamento mais lenta. Além disso, a atividade da miosina ATPase, a qual está diretamente relacionada a velocidade contrátil do músculo (BÁRÁNY, 1967) pode ser menor em crianças que em adultos. Portanto, esses dois fatores parecem contribuir potencialmente para a menor TDT e também para o maior tempo requerido para alcançar determinados percentuais fixo da CVM conforme relatado recentemente por Dotan et al. (2013b).

Nessa mesma perspectiva, a rigidez do tendão tem sido apontada como um dos parâmetros mecânicos que podem interferir diretamente sobre a taxa de incremento do torque muscular durante a CVM (DOTAN et al., 2013b; LAMBERTZ et al., 2003; WAUGH et al.,

2013). Tem se demonstrado que a rigidez do tendão é inversamente relacionada com o atraso eletromecânico em crianças ( $r = -0,66$ ;  $R^2 = 0,43$ ) e adultos ( $r = -0,61$ ;  $R^2 = 0,38$ ) (WAUGH et al., 2013). Como a rigidez do tendão é evidentemente menor em crianças que nos adultos (LAMBERTZ et al., 2003; WAUGH et al., 2013), tem se evidenciado que o atraso eletromecânico (*i.e.*, o tempo de atraso entre o início da ativação muscular e o início da produção de torque) é naturalmente maior no público mais jovem. Além disso, a rigidez do tendão tem se mostrado positivamente relacionado com a TDT em crianças e adultos (WAUGH et al., 2013). Mais especificamente, nesse estudo os autores observaram que o coeficiente de determinação obtido a partir da relação entre a rigidez do tendão (variável independente) e a TDT (variável dependente) pode diferir entre crianças e adultos de maneira mais acentuada em direção aos estágios finais do desenvolvimento do torque muscular. Enquanto a rigidez do tendão explicou aproximadamente 18 e 22% da variabilidade interindividual da TDT analisada no intervalo de tempo de 50 e 200ms em crianças e adultos, respectivamente, para a TDT analisada em 400ms o poder de explicação da rigidez do tendão aumentou para 35% em crianças e diminuiu para 11% em adultos. Isso sugere que possam existir diferenças relacionadas à idade nos mecanismos dominantes que influenciam o início, meio e final da TDT. Entretanto, Dotan et al. (2013b) e Andersen e Aagaard (2006) ressaltam que do meio para o final dos estágios da contração muscular, a rigidez do tendão juntamente a outros fatores neurais determinantes da TDT não parecem explicar mais que 20-30% da variação desse índice de força explosiva entre crianças e adultos.

Considerando essas evidências mencionadas acima, parece ser bem estabelecido na literatura o efeito da idade cronológica sobre a TDT e sobre os possíveis mecanismos neuromusculares que explicam a melhora desse índice relacionado à capacidade de produção de força rápida durante o processo de crescimento. Entretanto, ainda é escasso na literatura científica o número de estudos considerando as variações relacionadas à maturação esquelética sobre a TDT, seja em adolescentes da população em geral ou engajados em algum programa de treinamento esportivo.

### 2.3.2 Análise do torque muscular durante a infância e adolescência

O padrão de movimento no futebol envolve repetidos episódios de curta duração e alta intensidade, rápidas mudanças de direção, acelerações e desacelerações forçadas que requerem a aplicação de força

muscular, especialmente dos membros inferiores (COMETTI et al., 2001). A força muscular também tem sido diretamente relacionada ao desempenho em saltos verticais e *sprints* de 10m e 30m, os quais são considerados como pré-requisitos importantes para o desempenho físico no futebol (WISLØFF et al., 2004).

Testes de força muscular são comumente realizados por pesquisadores para monitorar as variáveis determinantes da força e o seu desenvolvimento durante a infância e a adolescência (DE STE CROIX, 2007). Dinamômetros isocinéticos têm sido um dos equipamentos utilizados para a avaliação da função muscular em populações pediátricas (DE STEX CROIX; DEIGHAN; ARMSTRONG, 2003), especialmente por fornecer informações precisas e reprodutíveis do torque muscular durante diferentes ações musculares e velocidades angulares (CARVALHO et al., 2011; KELLIS et al., 1999). É importante ressaltar que existem inúmeras questões metodológicas que devem ser consideradas para a avaliação do torque muscular isocinético em populações pediátricas (para maiores detalhes leia DE STEX CROIX, 2012; DE STEX CROIX; DEIGHAN; ARMSTRONG, 2003).

A maioria das investigações na literatura científica examinando as mudanças da força e/ou do torque durante o crescimento e a maturação biológica tem investigado principalmente ações musculares isométricas e concêntricas (DE STEX CROIX; DEIGHAN; ARMSTRONG, 2003; HOUSH et al., 1996; WEIR et al., 1999). Por outro lado, a avaliação do torque muscular excêntrico tem sido pouco explorada em adolescentes não atletas e/ou atletas durante os anos da infância e da puberdade. É possível que as informações limitadas sobre o torque excêntrico de crianças e adolescentes sejam atribuídos às preocupações que existem em torno dos testes excêntricos, especialmente pela possibilidade de lesões musculares. Contudo, a literatura aponta também que não há motivos concretos para se esperar que crianças/adolescentes tenham maior vulnerabilidade para algum tipo de lesão muscular comparado aos adultos (DE STEX CROIX, 2012; DE STEX CROIX; DEIGHAN; ARMSTRONG, 2003).

É conhecido que inúmeras tarefas motoras da vida diária ou padrões de movimentos específicos ao esporte requerem a realização repetidamente de ações musculares de característica concêntrica e excêntrica. Como parecem existir diferentes estratégias de controle neural e mecânico durante as ações musculares concêntricas e excêntricas (KELLIS; BALZOPoulos, 1998; SEGER; THORSTENSSON, 2000), a avaliação de ambos os tipos de ação

muscular é essencial para a melhor compreensão do desenvolvimento da força durante o processo de crescimento e maturação biológica.

Estudos transversais têm demonstrado que o torque muscular concêntrico e excêntrico dos extensores e flexores do joelho aumenta com a idade (HOUSH et al., 1996; KANEHISA et al., 1994; PAASUKE; ERELIN; GAPEYEVA, 2001; SEGER; THORSTENSSON, 2000; WEIR et al., 1999). Em meninos, o torque absoluto dos extensores e flexores do joelho pode aumentar, respectivamente, na ordem de 314% e 285% entre os 9-21 anos de idade (DE STEX CROIX; DEIGHAN; ARMSTRONG, 2003). De modo mais específico, Seger e Thorstenson (2000) têm observado que os aumentos no torque absoluto dos extensores do joelho entre o início (10-11 anos) e final (16 anos) da puberdade podem variar entre 71-94% para as ações concêntricas e 87-100% para as ações excêntricas. Esses autores ainda observaram que parece haver um aumento mais pronunciado na capacidade de gerar força excêntrica dos extensores do joelho quando comparado à força concêntrica durante o período da puberdade. Estes achados sugerem que ao ficarem mais velhos, as crianças e os adolescentes se tornam mais aptos a realizar ações de característica excêntrica.

Durante esse período da puberdade, o aumento do torque muscular tem sido atribuído a diferentes alterações nas características morfológicas, biomecânicas, neurais e hormonais do sistema neuromuscular e neuroendócrino (BEUNEN; MALINA, 1988). Além disso, a participação em programas de treinamento esportivo organizados também pode influenciar positivamente o desenvolvimento do torque muscular (HANSEN et al., 2011). Os estudos realizados com adolescentes jogadores de futebol têm apresentado resultados consistentes mostrando que o torque muscular concêntrico e excêntrico dos extensores e flexores do joelho em diferentes velocidades angulares aumenta progressivamente entre os 9-21 anos de idade (FORBES et al., 2009; HOLM; STEEN; OLSTAD, 2005; KELLIS et al., 2001). No entanto, existem algumas evidências sugerindo que esse desenvolvimento do torque durante a puberdade pode ser específico ao esporte realizado (FORBES et al., 2009). No caso do futebol, tem sido descrito que o padrão de movimentação e a natureza repetitiva dos gestos motores podem favorecer a um maior desenvolvimento do torque do quadríceps comparado com o torque produzido pelos isquiotibiais, alterando assim as razões convencionais e funcionais, influenciando na estabilidade da articulação do joelho (FORBES et al., 2009; IGA et al., 2009).



O torque produzido pelo sistema musculoesquelético também parece ser dependente das variações interindividuais em relação à velocidade com que os meninos se encaminham para o estado de maturidade biológica completa (CARLING; LE GALL; MALINA, 2012; CARVALHO et al., 2012; CUNHA, 2011). Os poucos estudos na literatura sobre a relação entre o torque muscular e a maturação biológica tem gerado alguns resultados controversos. Por exemplo, Carvalho et al. (2012) observaram que as variações associadas à maturidade somática sobre o torque concêntrico e excêntrico dos extensores e flexores do joelho em adolescentes jogadores de basquetebol foram mediadas pelas diferenças interindividuais na massa corporal e/ou volume muscular da coxa. De acordo com esses achados, Cunha (2011) também mostrou que as diferenças no torque muscular concêntrico e excêntrico dos extensores do joelho entre jogadores de futebol classificados como púbere e pós-púbere a partir das características sexuais secundárias (pelos pubianos) desapareceram após a influência da massa corporal sobre o torque ter sido apropriadamente controlada. Por outro lado, Carling, Le Gall e Malina (2012) demonstraram que o torque concêntrico dos extensores do joelho diferiu significativamente entre adolescentes jogadores de futebol classificados como atrasado, normomature e adiantado na maturação esquelética mesmo após controlar os efeitos da massa corporal e da estatura. Como prováveis justificativas para esses resultados conflitantes entre os estudos, dois aspectos importantes devem ser considerados (1) o uso de diferentes indicadores de maturidade biológica e (2) a aplicação de diferentes análises estatísticas (modelos alométricos vs. análise de covariância) em cada estudo acaba dificultando possíveis comparações entre os resultados.

## **2.4 Crescimento e Maturação Biológica**

Crescimento é a atividade biológica dominante por cerca das duas primeiras décadas da vida humana, incluindo, certamente, os nove meses de vida pré-natal (MALINA; BOUCHARD; BAR-OR, 2004). O crescimento pode ser caracterizado como o aumento no tamanho do corpo como um todo ou o tamanho atingido por partes específicas do corpo (BAXTER-JONES; THOMPSON; MALINA, 2002).

Por outro lado, a maturação pode ser descrita como o progresso em direção ao estado biologicamente maturo (MALINA; BOUCHARD; BAR-OR, 2004). A maturação é constituída por dois componentes denominados *timing* e *tempo*. O *timing* refere-se ao momento ou tempo

em que ocorrem eventos específicos de maturação (e.g. idade da menarca), enquanto o *tempo* caracteriza-se pela velocidade (*rate*) na qual ocorrem os progressos da maturação (e.g., a velocidade com que o jovem passa dos estágios iniciais de maturação sexual ao estado maduro) (MALINA; BOUCHARD; BAR-OR, 2004). Os estudos de maneira geral têm mostrado que crianças e adolescentes de mesma idade cronológica e sexo variam consideravelmente em *timing* e *tempo* de maturação (IULIANO-BURNS; MIRWALD; BAILEY, 2001; MALINA et al., 2000, 2010).

É importante destacar que esses dois processos (crescimento e maturação) ocorrem ao mesmo tempo e a interação entre esses dois marcos biológicos é diretamente regulada por fatores hereditários (componente genético), neuroendócrinos, ambientais e culturais (MALINA; BOUCHARD; BAR-OR, 2004). A prática de exercício físico, especialmente o treinamento proposto de forma regular e sistemática durante a infância e a adolescência é frequentemente indicado como um dos fatores ambientais que influenciam diretamente o processo de crescimento e maturação biológica (BAXTER-JONES; THOMPSON; MALINA, 2002).

#### 2.4.1 Avaliação do crescimento

O acompanhamento do processo de crescimento durante a infância e adolescência configura-se como uma importante ferramenta para avaliação das condições de saúde de crianças e adolescentes, seja no contexto esportivo ou de saúde pública, permitindo o diagnóstico precoce de possíveis problemas de subnutrição ou de sobrepeso e obesidade (BERGMANN et al., 2009). Especificamente, no contexto esportivo, a avaliação de variáveis relacionadas ao crescimento também se torna uma medida importante para a interpretação dos resultados obtidos a partir de testes físicos aplicados durante o processo de detecção e formação de jovens talentos (COELHO-E-SILVA et al., 2012; REILLY et al., 2000; VAEYENS et al., 2006, 2008). Essa afirmação pode ser fundamentada nos achados de diversos estudos, os quais mostram uma relação direta entre os indicadores de tamanho corporal e o desempenho físico em diferentes testes de campo e de laboratório para a avaliação funcional de jovens atletas de diversas modalidades esportivas (CARVALHO et al., 2012; FIGUEIREDO et al., 2010; JARIC; MIRKOV; MARKOVIC, 2005; MALINA et al., 2004, 2005b; MATTHYS et al., 2012; VALENTE-DOS-SANTOS et al., 2012).

A massa corporal e a estatura talvez sejam as principais variáveis de tamanho corporal comumente utilizada para avaliar o crescimento. Entretanto, ressalta-se que outras medidas de comprimento, diâmetros, circunferências ou perímetros e dobras cutâneas são utilizadas nos estudos de crescimento e desenvolvimento humano (MALINA; BOUCHARD; BAR-OR, 2004). O padrão de crescimento da massa corporal, da estatura e de outras variáveis de tamanho ou composição corporal pode ser analisado a partir das curvas de distância previamente propostas para avaliar o *status* de crescimento de uma criança ou adolescente (KUCZMARSKI et al., 2002). De um modo geral, essas curvas de distância fornecem informações acerca da massa corporal ou do tamanho atingido por uma criança ou adolescente em determinada idade ou a distância que já foi percorrida em direção ao padrão adulto.

Na literatura científica, os valores médios da estatura e massa corporal de adolescentes jogadores de futebol europeus são plotados principalmente usando como referência a nova curva de crescimento dos Estados Unidos da América (*Centers for Disease Control and Prevention*, 2000) (KUCZMARSKI et al., 2002).

A estatura média para a maioria das amostras de meninos adolescente jogadores de futebol europeu tende a variar dentro dos valores para o percentil 25 e 75 da amostra de referência. Durante a infância e início da adolescência (8 a 14 anos), a média da estatura tende a flutuar abaixo e acima da mediana (percentil 50), enquanto que ao final da adolescência (> 14 anos) a estatura média para as amostras de adolescentes jogadores de futebol se aproxima ou fica abaixo do percentil 50 (MALINA, 1994, 2003; MALINA et al., 2000). Comportamento similar tem sido observado para a massa corporal, porém com algumas particularidades ao final da adolescência. Como a estatura, a massa corporal média para a maioria das amostras de meninos adolescente jogadores de futebol europeu também fica dentro dos valores para o percentil 25 e 75 da amostra de referência. Durante a transição do final da infância para a adolescência, a massa corporal média fica levemente abaixo ou se aproxima do valor de mediana (percentil 50), enquanto que ao final da adolescência os valores médios da massa corporal estão acima da mediana e próxima do percentil 75 (FIGUEIREDO et al., 2009; MALINA, 1994, 2003; MALINA et al., 2000).

## 2.4.2 Avaliação da maturação biológica

As diferenças individuais em relação ao *timing* e ao *tempo* da maturação biológica, particularmente durante a transição da infância para a adolescência e durante a adolescência propriamente dita têm sido bem documentadas na literatura ((BAXTER-JONES; EISENMANN; SHERAR, 2005; MALINA et al., 2000, 2005a, 2010). No contexto esportivo, em especial durante o processo de seleção e detecção de jovens talentos, a avaliação de indicadores maturacionais vem sendo utilizada como ferramenta complementar para auxiliar na interpretação dos resultados obtidos em testes de desempenho físico, técnico e tático (BAXTER-JONES; EISENMANN; SHERAR, 2005; MATTHYS et al., 2012; MEYLAN et al., 2010).

Os métodos de avaliação associados à maturação variam de acordo com o sistema biológico que é considerado. O uso de indicadores relacionados à maturidade esquelética, sexual e somática tem sido comumente os mais adotados nos estudos de crescimento (MALINA; BOUCHARD; BAR-OR, 2004). Esses indicadores podem ser classificados como invasivos ou não-invasivos de acordo com os procedimentos ou técnicas necessárias para a sua determinação (MALINA et al., 2012). Tradicionalmente, a idade esquelética e as características sexuais secundárias (pelos pubianos, genitália e volume testicular) são consideradas como indicadores invasivos, enquanto a idade do PVE e o percentual da estatura adulta atingida em uma determinada idade são classificados como indicadores não-invasivos do *status* maturacional (MALINA et al., 2012).

### 2.4.2.1 Maturação Esquelética

A idade esquelética ou a idade óssea é um indicador do processo de maturação biológica, na qual indica o nível de maturidade esquelética atingida pelos ossos do punho e da mão de uma criança ou adolescente em determinado período do processo de crescimento (MALINA, 2011). A determinação da idade esquelética tem sido considerada como o melhor método para a avaliação da idade biológica ou do *status* de maturidade por ser aplicável desde o período da infância até o final da adolescência, diferentemente de outros indicadores de maturidade biológica que estão limitados ao período da puberdade (MALINA, 2011; MALINA et al., 2010, 2012).

Tradicionalmente, três métodos bem aceitos na literatura são utilizados para a determinação da maturidade esquelética: Greulich-Pyle

e Fels foram desenvolvidos baseados na amostra de crianças americanas e Tanner-Whitehouse foi desenvolvido a partir de uma amostra transversal de cerca de três mil crianças britânicas saudáveis (MALINA, 2011). Os três métodos utilizam a radiografia de punho e mão esquerda. No entanto, os métodos variam quanto aos critérios de análise e procedimentos utilizados para a atribuição da idade esquelética (MALINA, 2011). Ainda que os três métodos forneçam separadamente um valor de idade esquelética e esses valores possam ser correlacionados, a idade esquelética obtida a partir de cada método não pode ser utilizada de maneira intercambiável, pois os valores não são equivalentes (MALINA, 2011). Por exemplo, Malina et al. (2007) compararam os métodos Tanner-Whitehouse 3 (TW3) e Fels, em uma amostra de 40 adolescentes espanhóis jogadores de futebol com idade cronológica entre 12,5 e 16,1 anos. Nesse estudo, os autores observaram que os valores médios da idade esquelética obtida pelo método Fels foram maiores quando comparado a idade esquelética estimada pelo método Tanner-Whitehouse 3 em cada grupo etário analisado. Além disso, enquanto o método Fels classificou somente dois jogadores tendo a sua maturidade esquelética completa, o método Tanner-Whitehouse classificou 11 jogadores como maturados. Essas discrepâncias entre os métodos podem ser explicadas em parte pelas variações no grau de especificidade e discriminação dos critérios adotados para cada osso utilizado para a determinação da idade esquelética (MALINA; BOUCHARD; BAR-OR, 2004; MALINA et al., 2007).

#### 2.4.2.2 *Status* de maturidade esquelética de adolescentes jogadores de futebol

Neste tópico da revisão, as características de maturidade esquelética de meninos adolescente jogadores de futebol entre 10 e 17 anos de idade serão consideradas. Esses resultados têm implicações práticas relevantes no contexto de seleção e retenção de jovens talentos durante a infância e adolescência (MALINA, 2003). A maior parte dos estudos disponíveis na literatura foi realizada com amostras de adolescentes portugueses (FIGUEIREDO et al., 2009; MALINA et al., 2000, 2010), espanhóis (MALINA et al., 2010), franceses (CARLING; LE GALL; MALINA, 2012), italianos (CACCIARI et al., 1990), mexicanos (MALINA, 2003) e japoneses (HIROSE, 2009).

Malina et al. (2000) mostraram que a idade esquelética se aproxima, em média, da idade cronológica de jogadores portugueses entre 11 e 12 anos de idade ( $12,45 \pm 1,27$  vs  $12,34 \pm 0,52$  anos,

respectivamente). Por outro lado, a idade esquelética está adiantada em relação à idade cronológica dos jogadores de futebol entre 13 e 14 anos ( $14,33 \pm 1,18$  vs.  $13,65 \pm 0,70$  anos, respectivamente), e 15 e 16 anos de idade ( $16,68 \pm 0,97$  vs.  $15,70 \pm 0,35$  anos, respectivamente). Entre os jogadores portugueses de 11 e 12 anos de idade, o percentual de jogadores classificados como atrasados e adiantados na maturação esquelética foi similar (21%). Diferentemente, entre os jogadores portugueses de 13 e 14 anos, o percentual de meninos com maturação esquelética tardia e precoce foram, respectivamente, 7% e 38%. Percentuais correspondentes foram observados para os adolescentes de 15 e 16 anos de idade com maturação tardia (2%) e precoce (49%) (MALINA et al., 2000).

O resultado desse estudo somado aos achados de outros estudos é consistente com o argumento que em meninos jogadores de futebol entre 10 e 13 anos de idade, todos os níveis de maturidade esquelética (*i.e.* atrasado, normomature e adiantado) são identificados. Como mencionado acima, nesta faixa etária, a idade esquelética se aproxima, em média, da idade cronológica (FIGUEIREDO et al., 2009; MALINA, 2003; MALINA et al., 2000). Naturalmente com o aumento da idade cronológica e especialização esportiva, torna-se mais comum que meninos classificados como normomature ou adiantados na maturação esquelética façam parte das amostras de jovens jogadores de futebol, particularmente a partir dos 14 anos de idade para cima. Por outro lado, jogadores a partir dos 14 anos de idade classificados como atrasados na maturação esquelética são sub-representados ou tendem a não ser selecionados por treinadores para compor as equipes de futebol de base (FIGUEIREDO et al., 2009; MALINA et al., 2000, 2010).

Esse panorama demonstra que meninos jogadores de futebol selecionados para compor as equipes de futebol de base ou classificados como elites a partir dos 13-14 anos estão, em média, com a idade esquelética adiantada em relação a sua idade cronológica quando comparado com seus companheiros de menor nível competitivo ou da população em geral. Essa afirmação tem sido confirmada recentemente por Hirose (2009) em adolescentes japoneses jogadores de futebol da categoria sub-11 e sub-13 classificados como “selecionados” e “não-selecionados” para fazer parte da respectiva equipe de base de um clube profissional. Esses resultados têm implicações práticas interessantes a respeito dos critérios utilizados por treinadores e coordenadores técnicos para a retenção dos jogadores durante o processo de seleção e detecção de jovens talentos.

Por fim, deve ser destacado que ainda são desconhecidas informações disponíveis na literatura em relação ao nível de maturidade esquelética de adolescentes brasileiros jogadores de futebol.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Caracterização da pesquisa**

O presente estudo pode ser caracterizado quanto a sua natureza como sendo uma pesquisa aplicada, pois possui como objetivo gerar conhecimentos para a aplicação prática e dirigida para solucionar problemas específicos. Quanto à abordagem do problema, o estudo pode ser considerado uma pesquisa quantitativa, visto que os dados serão quantificados, classificados e analisados (SANTOS, 2011). Quanto aos objetivos propostos, a pesquisa caracteriza-se como sendo um estudo transversal de inter-relação do tipo correlacional, por tratar-se de uma pesquisa descritiva que tem como delineamento básico coletar dados sobre duas ou mais variáveis nos mesmos sujeitos e explorar as associações existentes entre elas (THOMAS; NELSON, 2012). Por fim, em relação aos procedimentos técnicos, essa pesquisa pode ser classificada como empírica.

#### **3.2 Participantes da pesquisa**

A seleção dos participantes do presente estudo foi do tipo intencional não probabilística. Participaram do estudo 55 adolescentes jogadores de futebol, entre 14,00 e 15,99 anos, do sexo masculino, recrutados na categoria infantil de dois clubes profissionais da cidade de Florianópolis. Todos os jogadores realizavam entre 4 e 5 sessões de treinamento por semana (~ 120 a 150 minutos), participando de jogos oficiais no meio da semana (4ª feira) ou aos finais de semana (sábado ou domingo). Os jogadores da atual amostra participaram no ano de 2014 de campeonatos ao nível regional, estadual e nacional. No momento das avaliações, as sessões de treinamento consistiam principalmente de trabalhos técnicos e táticos (70% do tempo do treinamento), agilidade e coordenação motora específica ao futebol (15%) e condicionamento físico e estratégias de recuperação muscular (15%). Essas informações foram repassadas posteriormente pelos membros da comissão técnica a partir da planilha de controle em relação ao tempo das sessões de treinamento. Os jogadores do primeiro e do segundo ano da categoria infantil foram alocados em dois grupos etários denominado de sub-15 (entre 14,00 e 14,99 anos) e sub-16 (entre 15,00 e 15,99 anos), respectivamente.



### **3.3 Critérios de Inclusão**

Os seguintes critérios de inclusão foram adotados no presente estudo: 1) experiência em treinamento e competições da modalidade por pelo menos um ano e 2) não ter apresentado nenhuma lesão muscular ou articular nos seis meses anteriores às coletas.

### **3.4 Coletas de dados**

Antes de iniciarem os procedimentos para a coleta de dados, os clubes, comissão técnica dos clubes, jogadores e responsáveis legais foram esclarecidos sobre os objetivos e a metodologia da pesquisa para, então, assinarem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEPSH) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), sob o parecer número 746.540.

Todas as avaliações foram realizadas no centro de treinamento dos clubes e nas dependências do Centro de Desportos (CDS) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mais especificamente, os jogadores participantes do presente estudo realizaram três visitas ao Laboratório de Esforço Físico (LAEF-CDS-UFSC) para a realização das avaliações antropométricas, maturacionais e neuromusculares.

Na primeira visita foram realizadas inicialmente as avaliações antropométricas e em seguida os participantes foram encaminhados ao Hospital Universitário (HU) da UFSC para a realização do raio-x de punho e mão esquerda. Na segunda visita (familiarização), os jogadores foram previamente instruídos e familiarizados com o protocolo dos testes no dinamômetro isocinético. Na terceira visita (teste oficial), os jogadores foram submetidos aos mesmos protocolos de testes no dinamômetro isocinético para a determinação das variáveis neuromusculares. O sinal EMG foi coletado simultaneamente aos testes no dinamômetro isocinético apenas na terceira visita. A terceira visita aconteceu no mínimo 72 horas e no máximo uma semana após a data da segunda visita.

### 3.5 Procedimentos para a coleta de dados

#### 3.5.1 Protocolo de avaliação antropométrica

As medidas antropométricas foram todas realizadas utilizando procedimentos previamente padronizados (PETROSKI, 2003). A estatura e a estatura tronco-encefálica foram determinadas com um estadiômetro com resolução de 0,1 cm (Sanny, São Paulo, Brasil). A partir da diferença entre os valores obtidos para estatura e estatura tronco-encefálica foi realizada a estimativa do comprimento de membros inferiores. A massa corporal (MC) foi medida utilizando-se uma balança eletrônica com resolução de 0,1 kg (Soehnle, Murrhardt, Alemanha). Baseado nos seus valores de MC, os jogadores foram divididos em três grupos de tamanho corporal de acordo com o percentil: menor MC ( $MC < P33$ ), MC intermediária ( $P33 < MC < P66$ ) e maior MC ( $MC > P66$ ). Os valores do percentil 33 e 66 foram, respectivamente, 61,57 e 68,18 kg.

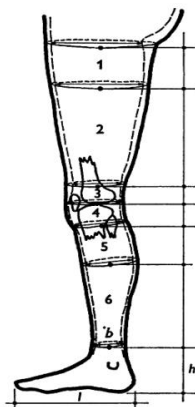
A partir de medidas antropométricas (circunferências), o volume total da coxa estimado foi calculado conforme descrito por Jones e Pearson (1969), no qual é baseado na soma dos dois primeiros segmentos de cones ilustrado na Figura 1. Resumidamente, com o participante em posição ortostática e os pés ligeiramente afastados, três circunferências a partir do uso da fita métrica (Cescorf, Porto Alegre, Brasil) foram mensuradas em locais pré-determinados: sulco glúteo (C1), um terço da altura correspondente entre a parte inferior do ísquio e o espaço da articulação tíbio-femoral (C2) e circunferência mínima acima do joelho (C3). As alturas (h) entre as respectivas circunferências foram obtidas utilizando um segmômetro (Cescorf, Porto Alegre, Brasil). Além disso, a espessura da dobra cutânea na região anterior e posterior em C2 (coxa) foram medidas utilizando um adipometro científico (Cescorf, Porto Alegre, Brasil). A fim de se obter o volume de um segmento de cone (V), a seguinte equação será utilizada:

Equação 1: Volume de um segmento de cone

$$V = (A_1 + A_2 + (A_1 \cdot A_2)^{0,5}) \cdot h / 3$$

Onde: h é a distância entre as circunferências,  $A_1$  é área da circunferência superior e  $A_2$  é a área da circunferência inferior.

O volume total da coxa estimado foi então calculado pela soma dos volumes dos dois primeiros segmentos de cones conforme ilustrado abaixo.



**Figura 1.** Ilustração dos seis segmentos de cones da perna e a marcação dos locais onde serão realizadas as medidas antropométricas.

### 3.5.2 Protocolo para a determinação da maturação esquelética

Radiografias do punho e mão esquerda foram realizadas para todos os jogadores. O método Greulich-Pyle foi utilizado para estimar a idade esquelética individual de cada jogador (GREULICH; PYLE, 1959). Este método consiste em comparar, de modo mais aproximado possível, a radiografia do punho e mão esquerda da criança que está sendo avaliada com um atlas de radiografias-padrão que correspondem em níveis sucessivos de maturação esquelética em idades cronológicas específicas. A idade esquelética da criança é a idade identificada como típica na radiografia-padrão que coincida com a radiografia da criança avaliada (MALINA; BOUCHARD; BAR-OR, 2004). O laudo das radiografias de punho e mão esquerda foi fornecido por um médico radiologista experiente.

### Classificação das categorias de maturidade esquelética

Conforme tem sido verificado em estudos prévios (FIGUEIREDO et al., 2009; MALINA et al., 2000, 2010), os participantes do presente estudo foram classificados em diferentes

categorias de maturidade esquelética baseada na diferença entre a idade esquelética e a idade cronológica:

- Atrasado (*delayed/late mature*): idade esquelética inferior à idade cronológica em mais de 1 ano;
- Normomaturado (*on time/average*): idade esquelética dentro da amplitude de  $\pm 1$  ano em relação à idade cronológica;
- Adiantado (*advanced/early mature*): idade esquelética superior à idade cronológica em mais de 1 ano;
- Maturado: idade esquelética igual a 18 anos de idade.

### 3.5.3 Protocolo para avaliação do torque isocinético

Para a avaliação do torque muscular isométrico e dinâmico (ações concêntricas e excêntricas) dos músculos extensores e flexores do joelho foi utilizado um dinamômetro isocinético (Biodex Medical Systems 4, Shirley, New York, EUA).

Imediatamente após a realização de 10 minutos de aquecimento no cicloergômetro, os participantes foram posicionados no dinamômetro isocinético em uma posição sentada (85° de flexão do quadril) com o tronco e o quadril presos por cintos com o intuito de evitar movimentos acessórios. A articulação do joelho foi posicionada em 90° (0° = extensão completa) e o eixo de rotação do braço do aparelho foi visualmente alinhado com o centro de rotação do joelho (linha intercondilar média), enquanto o ponto de apoio do braço de alavanca do aparelho ficou situado entre 2-3 cm acima do maléolo medial do avaliado. De acordo com as recomendações do fabricante foi solicitado ao participante relaxar sua perna de modo que a determinação passiva dos efeitos da gravidade sobre o membro e o braço de alavanca pudesse ser realizada.

O torque isométrico e a TDT dos músculos extensores e flexores do joelho foram avaliados com a articulação do joelho posicionado no ângulo de 70° (THORLUND; AAGAARD; MADSEN, 2009). Os participantes realizaram uma série de cinco contrações voluntárias máximas (CVM) com duração de cinco segundos. O intervalo entre cada contração foi de 60 segundos (ANDERSEN et al., 2010). Os participantes foram instruídos cuidadosamente a sempre

realizar a contração com “a maior quantidade de força e o mais rápido possível”. A tentativa na qual fosse observado um contra movimento inicial (identificado pela queda visual no sinal do torque) foi descartada, e uma nova tentativa foi realizada. Durante todas as CVM os participantes também puderam visualizar suas curvas de torque no monitor do dinamômetro como *feedback* visual, assim como foram motivados verbalmente para tentar obter o seu melhor desempenho (DOTAN et al., 2013b).

Após cinco minutos do término do protocolo de CVM isométrica, os adolescentes realizaram a mensuração do torque concêntrico e excêntrico dos músculos flexores e extensores do joelho utilizando o mesmo dinamômetro isocinético mencionado anteriormente. Durante a sessão destinada para a familiarização, no protocolo dinâmico, especialmente com as ações excêntricas, foram realizadas inicialmente duas séries de três repetições submáximas concêntricas e excêntricas de extensão/flexão do joelho antes de realizar na sequência o protocolo dinâmico principal. No processo de familiarização os participantes foram orientados a como “puxar” ou “empurrar” o braço do aparelho isocinético nas contrações concêntricas e a como “resistir” a ele nas ações excêntricas. A partir disto, o avaliador julgou se o padrão do movimento era satisfatório. Durante o protocolo dinâmico principal, os participantes realizaram uma série de cinco repetições máximas de extensão/flexão do joelho para mensuração do torque concêntrico e excêntrico dos músculos extensores do joelho, respectivamente, e mais uma série de cinco repetições de extensão/flexão do joelho para mensuração do torque excêntrico e concêntrico dos músculos flexores do joelho, respectivamente. Cada série foi separada por 2 minutos de intervalo. No dia do teste oficial, após o protocolo de CVM isométrica, os jogadores realizaram somente o protocolo dinâmico principal. A velocidade angular durante as ações musculares concêntricas e excêntricas foi fixada em  $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ . A amplitude de movimento (ADM) foi fixada em  $70^{\circ}$ . No presente estudo foi mensurado somente o torque do membro inferior preferido (perna de preferência para a realização do chute) dos jogadores. Os participantes foram incentivados verbalmente a realizarem o máximo esforço possível durante os testes.

#### 3.5.4 Protocolo para coleta do sinal EMG

A coleta do sinal EMG foi realizada simultaneamente aos testes realizados no dinamômetro isocinético durante a ação muscular

isométrica. O sinal EMG e do torque foram adquiridos com uma frequência de amostragem de 2000 Hz por canal. Um par de eletrodos de superfície passivos Kendall (Mini Meditrace-100; Ag/AgCl; diâmetro de 22 mm, distância intereletrodos de 20 mm) em configuração bipolar foi utilizado para avaliar a taxa de ativação muscular agonista. Os eletrodos foram fixados sobre a pele que recobre o ventre muscular do vasto lateral (VL) e bíceps femoral (BF) utilizando as recomendações sugeridas previamente pela *Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles* (SENIAM) (MERLETTI, 1997). Os eletrodos foram alinhados longitudinalmente na direção aproximada das fibras musculares conforme descrito no estudo de Cohen et al. (2010). O eletrodo de referência foi posicionado sobre a patela. Previamente à colocação dos eletrodos, a impedância da pele foi reduzida por meio da raspagem dos pelos com lâmina descartável e da limpeza da pele com algodão embebido em álcool 70%. A impedância intereletrodos manteve-se abaixo de 10 k $\Omega$  antes do início da coleta, avaliada por meio de um multímetro digital (Fluke<sup>®</sup> 115, Everett, WA, USA).

### 3.6 Análise dos dados

O tratamento das variáveis analisadas no presente estudo foi filtrado e processado por meio de rotinas matemáticas utilizando o *software* MATLAB (The MathWorks 2012a, Natick, Massachusetts, EUA). As rotinas matemáticas foram desenvolvidas com o auxílio de professores do Laboratório de Biomecânica (BIOMEC).

#### 3.6.1 Determinação do torque muscular, da TDT e da ativação muscular durante a contração isométrica

O sinal do torque e da EMG foram coletados por meio do *software* Miograph (Miotec Equipamentos Biomédicos Ltda., Porto Alegre, Brasil) e armazenados em um computador. Para o tratamento do sinal do torque foi utilizado um filtro do tipo passa-banda *Butterworth* com frequência de corte de 0-10 Hz, de segunda ordem. Os sinais da EMG passaram pelos mesmos procedimentos de filtragem utilizando o filtro do tipo passa-banda *Butterworth*, de quinta ordem, com frequência de corte de 20 e 500 Hz.

Após realizar as cinco contrações isométricas, a CVM com maior valor foi considerada para posterior análise. O torque isométrico foi considerado como o maior valor de torque observado. A TDT pico

foi calculada considerando o máximo da primeira derivada do sinal de torque (GABRIEL; BASFORD; AN, 2001). A TDT também foi determinada nos intervalos de tempo entre 0-30, 0-50, 0-100, 0-150, 0-200 e 0-250ms a partir do início da contração muscular considerando a inclinação da curva torque-tempo (AAGAARD et al., 2002; DOTAN et al., 2013b).

A amplitude do sinal EMG do músculo vasto lateral e bíceps femoral foi calculada a partir da análise do envoltório *root mean square* (RMS). O cálculo do envelope RMS foi realizado usando uma média móvel de 50ms. A máxima amplitude do sinal EMG foi considerada como o maior valor obtido dentro desse envelope RMS. A taxa de aumento do sinal EMG determinado a partir da inclinação da curva EMG-tempo durante o intervalo de tempo entre 0-30ms a partir do início da ativação muscular também foi considerada para a análise (COHEN et al., 2010; MITCHELL et al., 2011).

Para determinar o início da ativação muscular foi calculado inicialmente a média e desvios padrão em um trecho no qual o sinal fosse estável. Essa estabilidade foi determinada por análise visual. O início da ativação muscular foi considerado como o primeiro ponto no tempo no qual excedesse cinco desvios padrão dos valores de *baseline* por um tempo superior de 10ms (COHEN et al., 2010; MITCHELL et al., 2011), enquanto o início do torque foi considerado como o ponto no tempo em que alcançasse um valor de 7,5 Nm e 4,0 Nm acima dos valores de *baseline* para os extensores e flexores do joelho, respectivamente (THORLUND; AAGAARD; MADSEN, 2009).

### 3.6.2 Determinação do torque muscular concêntrico e excêntrico

Para a determinação do torque muscular concêntrico e excêntrico foi considerada a repetição que produziu o maior valor de torque a partir das cinco contrações realizadas.

## 3.7 Análise Estatística

Para a apresentação das variáveis foi utilizada a estatística descritiva (média  $\pm$  desvio padrão). A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e a homogeneidade das variâncias foi testada com o teste de Levene. As variáveis que violaram esses pressupostos estatísticos foram transformadas usando logaritmo natural ou a transformação de Box-cox.

A análise de variância (ANOVA) *one-way* foi utilizada para comparar o torque muscular, a TDT e a taxa de ativação muscular entre os grupos etários. Exclusivamente para a comparação do torque muscular entre os grupos etários, a análise de covariância (ANCOVA) *one-way* foi aplicada em duas etapas sucessivas. A primeira e a segunda etapa consistiam em incluir separadamente a massa corporal e o volume total da coxa estimado como covariáveis, respectivamente. A magnitude da diferença do efeito de cada covariável foi avaliada (comparações pareadas) usando a diferença média padronizada (Cohen effect size, ES) sobre a média ajustada fornecida pela ANCOVA ou média gerada pela ANOVA. Os critérios para interpretar a magnitude do effect size foram: trivial ( $\leq 0,2$ ) pequeno ( $> 0,2-0,6$ ), moderado ( $>0,6-1,2$ ), grande ( $>1,2-2,0$ ) e muito grande ( $>2,0-4,0$ ) (BATTERHAM; HOPKINS, 2006).

Para comparar o torque muscular e a TDT entre os grupos maturacionais foi aplicada a ANCOVA *one-way* incluindo simultaneamente a idade cronológica, a massa corporal e o volume total da coxa estimado como covariáveis. Por último, com o propósito de investigar as variações associadas ao tamanho corporal sobre o torque muscular e a TDT, a ANCOVA *one-way* foi novamente utilizada, porém incluindo agora a idade cronológica, a idade esquelética e o volume total da coxa estimado como covariáveis. Quando a ANOVA ou ANCOVA mostraram diferenças significantes entre os jogadores classificados em diferentes grupos etários, maturacionais e de tamanho corporal, a análise foi complementada pelo teste *post hoc* de Bonferroni para identificar quais grupos diferiram. A relação entre o torque isométrico e a TDT foi determinada utilizando a análise do coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ). O nível de significância de 5% foi adotado para todas as análises. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SPSS versão 17.0 (SPSS Inc., IBM Company, NY, USA).

## 4.0 RESULTADOS

Na Tabela 1 é apresentada a classificação maturacional esquelética dos adolescentes jogadores de futebol entre os dois grupos etários (Sub-15 e Sub-16) analisados no presente estudo. No total da amostra do presente estudo, 14,5% ( $n=8$ ) dos jogadores já tinham atingido, no momento do estudo, a maturidade esquelética de acordo com o método Greulich-Pyle. Como esperado, a maioria dos jogadores estão adiantados na maturação esquelética (50,9%), seguido por aqueles jogadores classificados como normomaturo (30,9%) e atrasados (3,6%) na maturidade esquelética.



Deve ser destacado que os jogadores classificados como maduro não foram incluídos nas análises realizadas para testar o efeito da maturação esquelética e do tamanho corporal sobre as variáveis neuromusculares. Por outro lado, os dois jogadores classificados como atrasados, embora elegíveis, não foram incluídos nas análises estatísticas realizadas para verificar a influência da maturação esquelética a fim de minimizar o erro do tipo II. Assim, o tamanho da amostra para as análises subsequentes é de 45 e 47 jogadores para avaliar o efeito da maturação esquelética e do tamanho corporal, respectivamente.

**Tabela 1.** Distribuição dos adolescentes jogadores de futebol classificados em diferentes níveis de maturidade esquelética nos dois grupos etários (Sub-15 e Sub-16) da presente amostra.

	Classificação maturacional esquelética			
	Atrasado (n=2)	Normomaduro (n=17)	Adiantado (n=28)	Maduro (n=8)
Sub-15	0	11	12	2
Sub-16	2	6	16	6

Diferenças relacionadas aos grupos etários para as variáveis de maturidade esquelética, tamanho e composição corporal estão apresentadas na Tabela 2. Os jogadores do Sub-16 foram, em média, um ano mais velho na idade cronológica (IC) e idade esquelética (IE) que seus companheiros do grupo Sub-15. Para as variáveis de tamanho e composição corporal foram encontradas diferenças significantes entre os dois grupos etários somente para a massa corporal ( $F=4,83$ ;  $p=0,03$ ), estatura sentada ( $F=4,47$ ;  $p=0,04$ ) e volume total da coxa estimado ( $F=7,98$ ;  $p<0,01$ ).

**Tabela 2.** Estatística descritiva (média  $\pm$  dp) para as variáveis de maturidade esquelética, tamanho e composição corporal de adolescentes jogadores de futebol, e valores da análise de variância (ANOVA) *one-way*.

	Grupos Etários		
	Sub-15 (n=25)	Sub-16 (n=30)	F(p)
IC (anos)	14,6 $\pm$ 0,2	15,6 $\pm$ 0,3	217,51 (<0,01)
IE (anos)	15,9 $\pm$ 1,2	16,8 $\pm$ 1,0	7,97 (<0,01)
Massa Corporal (kg)	62,6 $\pm$ 7,9	67,5 $\pm$ 8,7	4,83 (0,03)
Estatura (cm)	172,1 $\pm$ 8,8	176,2 $\pm$ 7,9	3,32 (0,07)

Estatura Sentada (cm)	90,1 ± 3,7	92,2 ± 3,5	4,47 (0,04)
CMI estimado (cm)	82,0 ± 5,9	84,0 ± 5,6	1,72 (0,20)
VC estimado (L)	4,8 ± 0,9	5,5 ± 0,9	7,98 (<0,01)

IC= idade cronológica; IE= idade esquelética; CMI estimado= comprimento de membros inferiores estimado; VC estimado= volume total da coxa estimado.

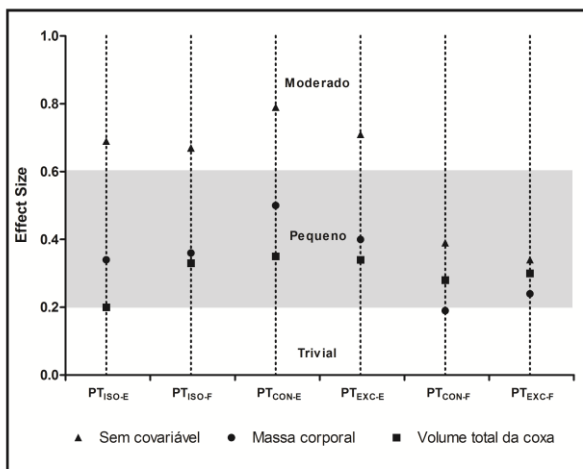
#### 4.1 Efeitos da idade cronológica sobre o torque muscular

Na tabela 3 estão descritos os valores de torque muscular dos extensores e flexores do joelho durante as ações musculares isométrica, concêntrica e excêntrica. Diferenças relacionadas à idade cronológica foram observadas para o torque isométrico de ambos os grupos musculares (extensores e flexores) e para torque concêntrico e excêntrico dos músculos extensores do joelho. Entretanto, os resultados da ANOVA não apontaram diferença significativa entre os grupos etários para os valores de torque concêntrico e excêntrico dos músculos flexores do joelho. Após utilizar separadamente a massa corporal e o volume total da coxa estimado como covariáveis, todas as diferenças significantes para o torque muscular determinado nas diferentes ações musculares desapareceram ( $p > 0,05$ ). As diferenças entre os grupos etários após controlar separadamente o efeito da massa corporal e do volume total da coxa estimado estão ilustradas na Figura 2. Como esperado, os valores de *effect size* entre os grupos etários diminuiram após utilizar a ANCOVA, principalmente para o PT<sub>ISO-E</sub>, PT<sub>ISO-F</sub>, PT<sub>CON-E</sub> e PT<sub>EXC-E</sub> (veja Figura 2).

**Tabela 3.** Pico de torque (média ± dp) dos músculos extensores e flexores do joelho durante as ações musculares isométrica, concêntrica e excêntrica entre os grupos etários, valores da ANOVA *one-way* e *effect size*.

	Grupos Etários		F(p)	ES
	Sub-15 (n=25)	Sub-16 (n=30)		
PT <sub>ISO-E</sub> (Nm)	248,8 ± 56,1	286,1 ± 55,6	6,09 (0,02)	0,69
PT <sub>ISO-F</sub> (Nm)	115,3 ± 29,7	143,5 ± 52,0	5,60 (0,02)	0,67
PT <sub>CON-E</sub> (Nm)	185,4 ± 30,9	211,1 ± 33,9	8,43 (<0,01)	0,79
PT <sub>EXC-E</sub> (Nm)	244,0 ± 46,2	279,8 ± 53,1	7,00 (0,01)	0,71
PT <sub>CON-F</sub> (Nm)	158,8 ± 34,0	173,0 ± 39,3	2,01 (0,16)	0,39
PT <sub>EXC-F</sub> (Nm)	163,3 ± 35,5	176,2 ± 39,7	1,58 (0,22)	0,34

$PT_{ISO-E}$ = pico de torque isométrico dos músculos extensores do joelho;  $PT_{ISO-F}$ = pico de torque isométrico dos músculos flexores do joelho;  $PT_{CON-E}$ = pico de torque concêntrico dos músculos extensores do joelho;  $PT_{CON-F}$ = pico de torque concêntrico dos músculos flexores do joelho;  $PT_{EXC-E}$ = pico de torque excêntrico dos músculos extensores do joelho;  $PT_{EXC-F}$ = pico de torque excêntrico dos músculos flexores do joelho.

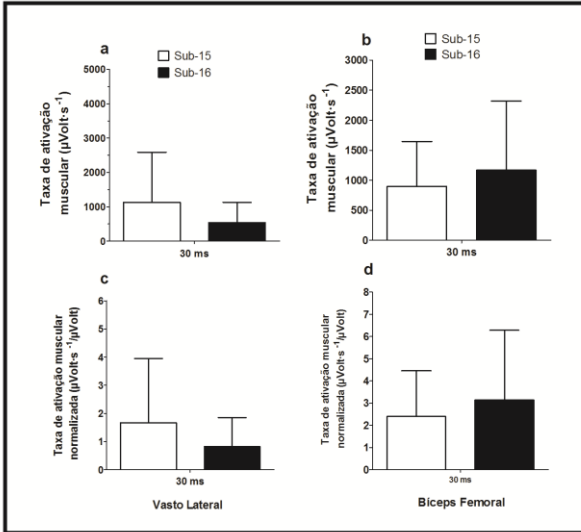


**Figura 2.** Valores de effect size entre os grupos etários para os valores de pico de torque isométrico ( $PT_{ISO}$ ), concêntrico ( $PT_{CON}$ ) e excêntrico ( $PT_{EXC}$ ) dos músculos extensores (E) e flexores (F) do joelho sem incluir e após incluir separadamente a massa corporal e o volume total da coxa estimado como covariável.

#### 4.2 Efeitos da idade cronológica sobre a taxa de ativação muscular e a TDT

A Figura 3 ilustra a taxa de ativação muscular do vasto lateral e bíceps femoral durante a ação muscular isométrica dos extensores e flexores do joelho entre os grupos etários. Nenhuma diferença significativa foi observada entre os jogadores alocados no grupo sub-15 e sub-16 para a taxa de ativação muscular absoluta (0-30ms:  $1130,64 \pm 1456,45$  vs.  $533,75 \pm 597,89 \mu\text{Volt} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $F=1,90$ ,  $p=0,17$ , Figura 3a) e relativa à amplitude máxima do sinal EMG (0-30ms:  $1,67 \pm 2,28$  vs.  $0,82 \pm 1,03 \mu\text{Volt} \cdot \text{s}^{-1} / \mu\text{Volt}$ ,  $F=1,38$ ,  $p=0,25$ , Figura 3c) durante a extensão do joelho. Um padrão similar foi observado para a taxa de ativação muscular absoluta (0-30ms:  $895,24 \pm 749,75$  vs.  $1167,45 \pm$

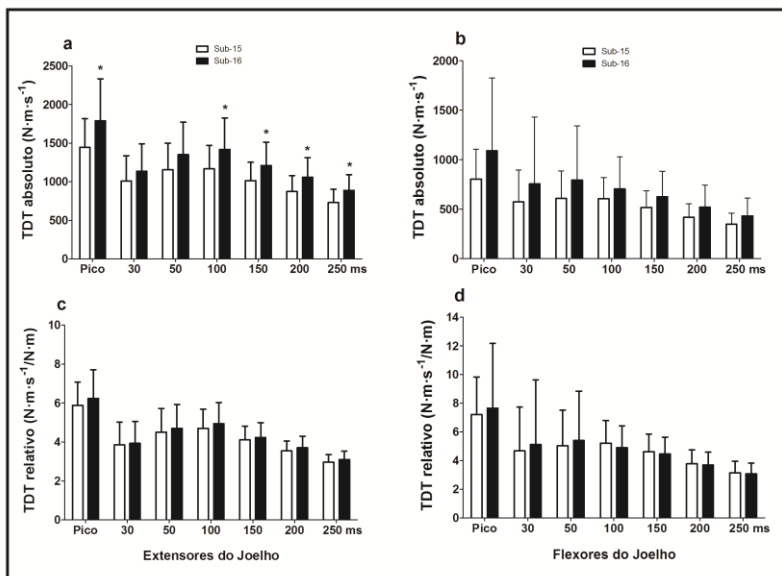
1149,01  $\mu\text{Volt}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $F=0,98$ ,  $p=0,33$ , Figura 3b) e relativa à amplitude máxima do sinal EMG (0-30ms:  $2,39 \pm 2,06$  vs.  $3,13 \pm 3,14$   $\mu\text{Volt}\cdot\text{s}^{-1}/\mu\text{Volt}$ ,  $F=0,97$ ,  $p=0,33$ , Figura 3d) durante a flexão do joelho.



**Figura 3.** Taxa de ativação muscular em valores absolutos (a,b) e normalizados pela amplitude máxima do sinal EMG (c,d) no intervalo de tempo entre 0-30ms para os músculos vasto lateral (à esquerda) e bíceps femoral (à direita) entre os grupos etários sub-15 (barras em branco) e sub-16 (barras em preto).

A Figura 4 ilustra a TDT pico e nos intervalos de tempo 0-30, 0-50, 0-100, 0-150, 0-200 e 0-250ms expresso em valores absolutos e relativos para os extensores e flexores do joelho. Os jogadores do grupo Sub-16 apresentaram valores médios significativamente maiores que seus companheiros do grupo sub-15 para a TDT pico ( $F=7,11$ ,  $p=0,01$ ,  $ES=0,73$ ),  $TDT_{0-100\text{ms}}$  ( $F=6,31$ ,  $p=0,02$ ,  $ES=0,69$ ),  $TDT_{0-150\text{ms}}$  ( $F=6,93$ ,  $p=0,01$ ,  $ES=0,72$ ),  $TDT_{0-200\text{ms}}$  ( $F=8,40$ ,  $p<0,01$ ,  $ES=0,79$ ) e  $TDT_{0-250\text{ms}}$  ( $F=9,30$ ,  $p<0,01$ ,  $ES=0,83$ ) dos extensores do joelho. Durante a flexão do joelho, nenhuma diferença significativa foi observada para a TDT pico ( $F=3,20$ ,  $p=0,08$ ,  $ES=0,50$ ),  $TDT_{0-30\text{ms}}$  ( $F=1,50$ ,  $p=0,23$ ,  $ES=0,35$ ),  $TDT_{0-50\text{ms}}$  ( $F=2,31$ ,  $p=0,14$ ,  $ES=0,43$ ),  $TDT_{0-100\text{ms}}$  ( $F=1,60$ ,  $p=0,21$ ,  $ES=0,36$ ),  $TDT_{0-150\text{ms}}$  ( $F=3,09$ ,  $p=0,09$ ,  $ES=0,49$ ),  $TDT_{0-200\text{ms}}$  ( $F=3,73$ ,  $p=0,06$ ,  $ES=0,54$ ) e  $TDT_{0-250\text{ms}}$  ( $F=3,86$ ,  $p=0,06$ ,  $ES=0,55$ ). Após normalizar a TDT pico e a TDT analisada nos diferentes intervalos de

tempo pelo torque máximo isométrico, nenhuma diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre os grupos etários foi observada para a TDT dos extensores e flexores do joelho (veja Figura 4c e 4d, respectivamente).



**Figura 4.** Taxa de desenvolvimento de torque (TDT) em valores absolutos (a,b) e relativo ao torque máximo (c,d) no pico e nos intervalos de tempo entre 0-30, 0-50, 0-100, 0-150, 0-200 e 0-250ms para os extensores (à esquerda) e flexores (à direita) do joelho entre os grupos etários sub-15 (barras em branco) e sub-16 (barras em preto).

Nota: \*indica diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os grupos etários.

### 4.3 Efeitos da maturação esquelética sobre o torque muscular

Na tabela 4 é apresentada a comparação do torque muscular entre os jogadores classificados como normomaturados e adiantados na maturação esquelética, assim como os valores da ANCOVA usando a idade cronológica, a massa corporal e o volume total da coxa estimado como covariáveis. Após controlar os efeitos da idade cronológica e do tamanho corporal não foram observadas diferenças relacionadas à maturação esquelética sobre os valores de torque muscular independente da ação muscular realizada.

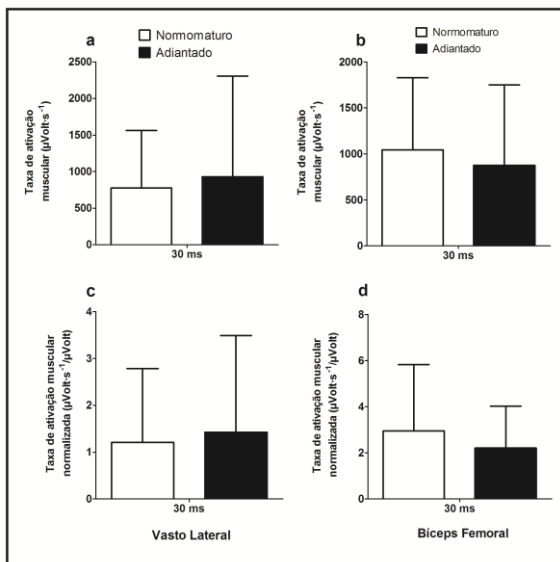
**Tabela 4.** Estatística descritiva (média ajustada  $\pm$  erro padrão) para o pico de torque isométrico, concêntrico e excêntrico dos músculos extensores e flexores do joelho entre os grupos maturacionais após controlar os efeitos da idade cronológica, massa corporal e volume total da coxa estimado.

	Grupos maturacionais		F(p)	ES
	Normomaturado (n=17)	Adiantado (n=28)		
PT <sub>ISO-E</sub> (Nm)	270,9 $\pm$ 11,3	261,9 $\pm$ 8,5	0,36 (0,55)	0,19
PT <sub>ISO-F</sub> (Nm)	136,4 $\pm$ 9,9	127,5 $\pm$ 8,2	0,44 (0,51)	0,21
PT <sub>CON-E</sub> (Nm)	197,4 $\pm$ 6,1	199,1 $\pm$ 4,6	0,05 (0,83)	0,07
PT <sub>EXC-E</sub> (Nm)	264,9 $\pm$ 10,1	254,1 $\pm$ 7,6	0,66 (0,42)	0,26
PT <sub>CON-F</sub> (Nm)	173,5 $\pm$ 5,5	160,3 $\pm$ 4,2	3,24 (0,08)	0,58
PT <sub>EXC-F</sub> (Nm)	178,2 $\pm$ 5,9	163,2 $\pm$ 4,5	3,70 (0,06)	0,62

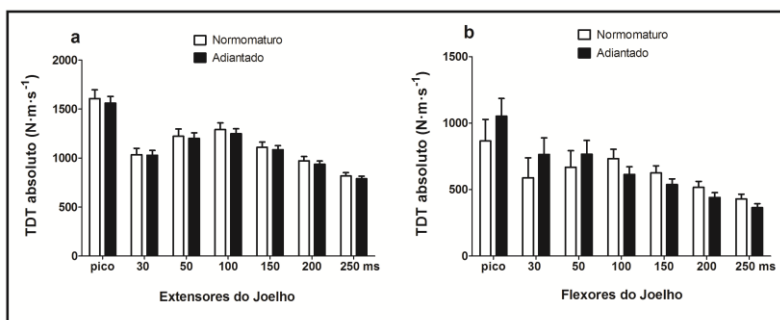
PT<sub>ISO-E</sub>= pico de torque isométrico dos músculos extensores do joelho; PT<sub>ISO-F</sub>= pico de torque isométrico dos músculos flexores do joelho; PT<sub>CON-E</sub>= pico de torque concêntrico dos músculos extensores do joelho; PT<sub>CON-F</sub>= pico de torque concêntrico dos músculos flexores do joelho; PT<sub>EXC-E</sub>= pico de torque excêntrico dos músculos extensores do joelho; PT<sub>EXC-F</sub>= pico de torque excêntrico dos músculos flexores do joelho.

#### 4.4 Efeitos da maturação esquelética sobre a taxa de ativação muscular e a TDT

A Figura 5 e 6 ilustram a taxa de ativação muscular e a TDT dos extensores e flexores do joelho entre os jogadores classificados em diferentes níveis de maturidade esquelética, respectivamente. As variações relacionadas à maturação esquelética não exerceram nenhum efeito sobre a taxa de ativação muscular absoluta (Figura 5a e 5b) e normalizada pela amplitude máxima do sinal EMG (Figura 5c e 5d) analisadas no intervalo de tempo entre 0-30ms durante a extensão e flexão do joelho. Similarmente, nenhuma diferença significativa ( $p>0,05$ ) foi observada entre os jogadores classificados como normomaturado e adiantado na maturação esquelética para a TDT absoluta no pico e nos diferentes intervalos de tempo durante a extensão e flexão do joelho (Figura 6a e 6b, respectivamente).



**Figura 5.** Taxa de ativação muscular em valores absolutos (a,b) e normalizados pela amplitude máxima do sinal EMG (c,d) no intervalo de tempo entre 0-30ms para os músculos vasto lateral (à esquerda) e bíceps femoral (à direita) entre os grupos normomatureo (barras em branco) e adiantado (barras em preto) na maturação esquelética.



**Figura 6.** Taxa de desenvolvimento de torque (TDT) em valores absolutos (média ajustada  $\pm$  erro padrão) no pico e nos intervalos de tempo entre 0-30, 0-50, 0-100, 0-150, 0-200 e 0-250ms para os extensores (a) e flexores (b) do joelho entre os grupos normomatureo (barras em branco) e adiantado (barras em preto) na maturação esquelética após controlar estatisticamente o efeito da idade, da massa corporal e do volume total da coxa estimado.

#### 4.5 Efeitos do tamanho corporal sobre o torque muscular

Na Tabela 5 é apresentada a estatística descritiva (média ajustada  $\pm$  erro padrão) dos valores de torque muscular entre os jogadores classificados em diferentes categorias de tamanho corporal e a comparação entre os grupos realizada pela análise de covariância usando a idade cronológica, a idade esquelética e o volume total da coxa estimado como covariáveis. Os valores de torque muscular concêntrico e excêntrico dos extensores e flexores do joelho foram sensíveis às variações relacionadas ao tamanho corporal ( $p < 0,05$ ). De maneira similar, o torque muscular isométrico dos flexores do joelho foi significativamente diferente entre os jogadores de maior MC e MC intermediária. Por outro lado, o torque muscular isométrico dos extensores do joelho não diferiu entre os diferentes grupos de tamanho corporal.

**Tabela 5.** Estatística descritiva (média ajustada  $\pm$  erro padrão) para o pico de torque isométrico, concêntrico e excêntrico dos músculos extensores e flexores do joelho entre os grupos com variação no tamanho corporal após controlar os efeitos da idade cronológica, da idade esquelética e do volume total da coxa estimado.

	Grupos de tamanho corporal			F(p)
	Menor MC (n=15)	MC Intermediária (n=16)	Maior MC (n=16)	
PT <sub>ISO-E</sub> (Nm)	252,3 <sup>a</sup> ( $\pm 15,1$ )	257,2 <sup>a</sup> ( $\pm 11,4$ )	278,9 <sup>a</sup> ( $\pm 14,8$ )	0,72 (0,49)
PT <sub>ISO-F</sub> (Nm)	121,2 <sup>ab</sup> ( $\pm 13,5$ )	112,7 <sup>b</sup> ( $\pm 10,1$ )	156,8 <sup>a</sup> ( $\pm 13,8$ )	3,25 (0,05)
PT <sub>CON-E</sub> (Nm)	179,0 <sup>a</sup> ( $\pm 7,7$ )	194,0 <sup>ab</sup> ( $\pm 5,8$ )	214,5 <sup>b</sup> ( $\pm 7,6$ )	3,86 (0,03)
PT <sub>EXC-E</sub> (Nm)	207,0 <sup>a</sup> ( $\pm 11,7$ )	260,4 <sup>b</sup> ( $\pm 8,8$ )	297,5 <sup>c</sup> ( $\pm 11,5$ )	11,24 ( $< 0,01$ )
PT <sub>CON-F</sub> (Nm)	141,9 <sup>a</sup> ( $\pm 7,7$ )	161,1 <sup>a</sup> ( $\pm 5,8$ )	187,5 <sup>b</sup> ( $\pm 7,5$ )	6,45 ( $< 0,01$ )
PT <sub>EXC-F</sub> (Nm)	142,3 <sup>a</sup> ( $\pm 8,1$ )	165,6 <sup>a</sup> ( $\pm 6,0$ )	193,3 <sup>b</sup> ( $\pm 7,9$ )	7,24 ( $< 0,01$ )

MC= massa corporal; PT<sub>ISO-E</sub>= pico de torque isométrico dos músculos extensores do joelho; PT<sub>ISO-F</sub>= pico de torque isométrico dos músculos flexores do joelho; PT<sub>CON-E</sub>= pico de torque concêntrico dos músculos extensores do joelho; PT<sub>CON-F</sub>= pico de torque concêntrico dos músculos flexores do joelho;

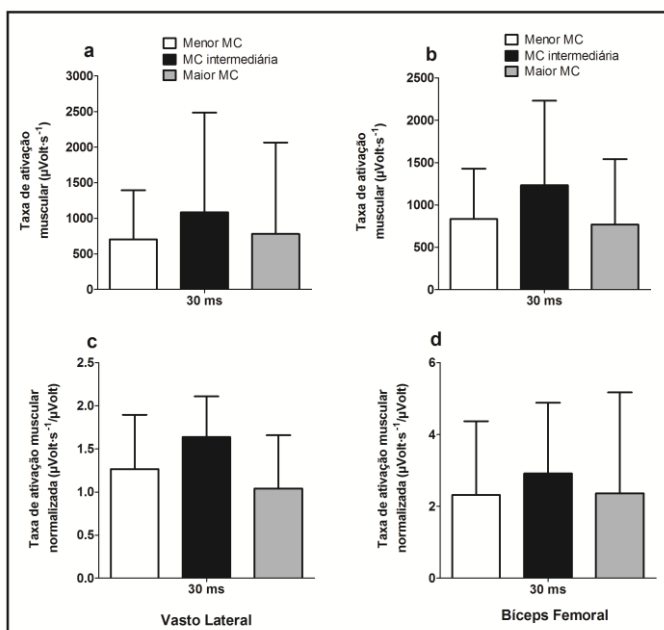


$PT_{EXC-E}$ = pico de torque excêntrico dos músculos extensores do joelho;  $PT_{EXC-F}$ = pico de torque excêntrico dos músculos flexores do joelho.

Nota: letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre os grupos, enquanto que letras iguais indicam que não houve diferença.

#### 4.6 Efeitos do tamanho corporal sobre a taxa de ativação muscular e a TDT

A taxa de ativação muscular entre os jogadores com variações no tamanho corporal é ilustrada na Figura 7. Nenhuma diferença significativa ( $p>0,05$ ) foi observada para a taxa de ativação muscular absoluta ou normalizada entre os grupos de tamanho corporal.



**Figura 7.** Taxa de ativação muscular em valores absolutos (a,b) e normalizados pela amplitude máxima do sinal EMG (c,d) no intervalo de tempo entre 0-30ms para os músculos vasto lateral (à esquerda) e bíceps femoral (à direita) entre os grupos com variações no tamanho corporal (Menor MC, MC intermediária e Maior MC).

A Tabela 6 apresenta a comparação da TDT absoluta no pico e nos diferentes intervalos de tempo para os extensores e flexores do joelho entre os grupos de tamanho corporal após utilizar a idade cronológica, a idade esquelética e o volume total da coxa estimado como variáveis de controle na análise de covariância.

As variações associadas ao tamanho corporal influenciaram significativamente ( $p < 0,05$ ) a TDT dos extensores do joelho. Mesmo após controlar os efeitos da idade cronológica, da idade esquelética e do volume total da coxa estimado, as variações associadas ao tamanho corporal continuaram exercendo efeito sobre a TDT. É possível observar que os valores para a TDT foram significativamente menores para os jogadores com menor MC comparado aos seus companheiros classificados no grupo de maior MC e MC intermediária, que por sua vez não diferem entre si. Porém, quando a TDT dos extensores do joelho foi normalizada pelo torque isométrico máximo, todas as diferenças entre os jogadores com variações no tamanho corporal desapareceram ( $p > 0,05$ ) conforme demonstrado na Figura 8a. Para os flexores do joelho, nenhuma diferença significativa foi detectada para a TDT entre os jogadores classificados em diferentes categorias de tamanho corporal após controlar o efeito da idade cronológica, da idade esquelética e do volume total da coxa estimado (Tabela 6) ou do torque isométrico máximo (Figura 8b).

**Tabela 6.** Taxa de desenvolvimento de torque (TDT) em valores absoluto (média ajustada  $\pm$  erro padrão) no pico e nos intervalos de tempo entre 0-30, 0-50, 0-100, 0-150, 0-200 e 0-250ms para os extensores e flexores do joelho entre os grupos com variações no tamanho corporal após controlar os efeitos da idade cronológica, da idade esquelética e do volume total da coxa estimado.

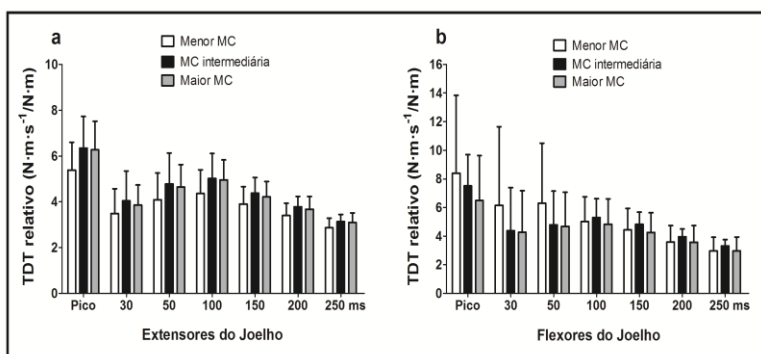
	Grupos de tamanho corporal			F(p)
	Menor MC (n=15)	MC Intermediária (n=16)	Maior MC (n=16)	
<b><i>Extensores</i></b>				
TDT <sub>pico</sub> (N·m·s <sup>-1</sup> )	1161,7 <sup>a</sup> ( $\pm 115,1$ )	1633,5 <sup>b</sup> ( $\pm 86,7$ )	1895,1 <sup>bc</sup> ( $\pm 113,1$ )	7,87 ( $< 0,01$ )
TDT <sub>0-30</sub> (N·m·s <sup>-1</sup> )	745,8 <sup>a</sup> ( $\pm 89,6$ )	1069,1 <sup>b</sup> ( $\pm 67,5$ )	1242 <sup>bc</sup> ( $\pm 88,1$ )	6,00 ( $< 0,01$ )
TDT <sub>0-50</sub> (N·m·s <sup>-1</sup> )	876,9 <sup>a</sup> ( $\pm 98,9$ )	1253,6 <sup>b</sup> ( $\pm 74,4$ )	1457,7 <sup>bc</sup> ( $\pm 97,1$ )	6,72 ( $< 0,01$ )

## Continuação da Tabela 6

TDT <sub>0-100</sub> (N·m·s <sup>-1</sup> )	969,6 <sup>a</sup> (± 90,1)	1304,3 <sup>b</sup> (± 67,8)	1478,5 <sup>bc</sup> (± 88,5)	6,30 (<0,01)
TDT <sub>0-150</sub> (N·m·s <sup>-1</sup> )	870,5 <sup>a</sup> (± 67,2)	1132,3 <sup>b</sup> (± 50,6)	1249,9 <sup>bc</sup> (± 66,0)	6,50 (<0,01)
TDT <sub>0-200</sub> (N·m·s <sup>-1</sup> )	768,4 <sup>a</sup> (± 54,8)	974,0 <sup>b</sup> (± 41,2)	1081,7 <sup>bc</sup> (± 53,8)	6,43 (<0,01)
TDT <sub>0-250</sub> (N·m·s <sup>-1</sup> )	675,6 <sup>a</sup> (± 44,7)	808,4 <sup>b</sup> (± 33,7)	887,7 <sup>bc</sup> (± 43,9)	4,30 (0,02)
<b><i>Flexores</i></b>				
TDT <sub>pico</sub> (N·m·s <sup>-1</sup> )	1109,2 (±212,1)	820,8 (± 158,3)	957,9 (± 216,2)	0,68 (0,51)
TDT <sub>0-30</sub> (N·m·s <sup>-1</sup> )	871,5 (±196,5)	515,7 (± 147,2)	660,8 (± 200,3)	1,16 (0,33)
TDT <sub>0-50</sub> (N·m·s <sup>-1</sup> )	853,6 (±162,3)	567,8 (± 121,5)	734,0 (± 165,4)	1,22 (0,30)
TDT <sub>0-100</sub> (N·m·s <sup>-1</sup> )	606,4 (± 97,0)	630,3 (± 72,7)	739,4 (± 98,9)	0,42 (0,66)
TDT <sub>0-150</sub> (N·m·s <sup>-1</sup> )	522,3 (± 74,2)	549,4 (± 55,6)	635,8 (± 75,7)	0,48 (0,62)
TDT <sub>0-200</sub> (N·m·s <sup>-1</sup> )	427,1 (± 62,3)	446,2 (± 46,8)	529,1 (± 63,5)	0,59 (0,56)
TDT <sub>0-250</sub> (N·m·s <sup>-1</sup> )	351,3 (± 50,9)	371,3 (± 38,0)	437,3 (± 51,8)	0,60 (0,56)

MC= massa corporal; TDT= taxa de desenvolvimento de torque.

Nota: letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre os grupos, enquanto que letras iguais indicam que não houve diferença.



**Figura 8.** Taxa de desenvolvimento de torque (TDT) relativo (média ± desvio padrão) no pico e nos intervalos de tempo entre 0-30, 0-50, 0-100, 0-

150, 0-200 e 0-250ms para os extensores e flexores do joelho entre os grupos com variações no tamanho corporal (Menor MC, MC intermediária e Maior MC).

## 5.0 DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo central investigar a influência da idade cronológica, da maturação esquelética e do tamanho corporal sobre o torque muscular isométrico, concêntrico e excêntrico, a TDT e a ativação muscular em adolescentes jogadores de futebol bem treinados.

Os principais achados do presente estudo foram (1) as variações relacionadas à idade cronológica influenciaram significativamente o  $PT_{ISO-E}$ ,  $PT_{ISO-F}$ ,  $PT_{CON-E}$ ,  $PT_{EXC-E}$  e a TDT somente dos extensores do joelho; (2) diferenças relacionadas ao tamanho corporal foram observadas para o  $PT_{ISO-F}$ ,  $PT_{CON-E}$ ,  $PT_{EXC-E}$ ,  $PT_{CON-F}$ ,  $PT_{EXC-F}$  e para a TDT somente dos extensores do joelho; (3) não foram encontradas diferenças significantes entre os jogadores classificados em diferentes níveis de maturidade esquelética para o torque muscular e a TDT dos extensores e flexores do joelho; (4) a taxa de ativação muscular do vasto lateral e do bíceps femoral durante a ação isométrica não foi influenciada pelas variações relacionadas à idade cronológica, à maturação esquelética e ao tamanho corporal.

Estudos prévios na literatura têm relatado que o torque muscular concêntrico e excêntrico dos extensores e flexores do joelho aumenta progressivamente em adolescentes jogadores de futebol entre os 9 e 17 anos de idade (FORBES et al., 2009; HOLM; STEEN; OLSTAD, 2005; KELLIS et al., 2001). Seger e Thorstensson (2000) observaram que os aumentos no torque absoluto dos extensores do joelho entre o início (10-11 anos) e final (16 anos) da puberdade podem variar na ordem de 71-94% para as ações concêntricas e 87-100% para as ações excêntricas. Um comportamento semelhante tem sido demonstrado para o torque isométrico absoluto durante o período da puberdade (PAASUKE; ERELINE; GAPEYEVA, 2001; PÄÄSUKE; ERELINE; GAPEYEVA, 2000). Embora no presente estudo a variação da faixa etária seja mais estreita (~ 2 anos) em relação aos estudos prévios, nossos resultados também mostraram maiores valores de torque muscular para os jogadores do grupo sub-16 em comparação com seus companheiros do sub-15 (Tabela 3), confirmando assim parcialmente a nossa hipótese.

A nossa hipótese foi parcialmente confirmada, pois nenhuma diferença significativa foi encontrada para o torque concêntrico e excêntrico dos flexores do joelho entre os grupos etários (Tabela 3). Esse resultado sugere que o aumento do torque produzido pelos isquiotibiais, especialmente durante a ação muscular excêntrica, não ocorre na mesma extensão do aumento do torque gerado pelo quadríceps conforme o adolescente se torna mais velho dentro da mesma categoria competitiva (infantil), ou seja, durante a transição do primeiro para o segundo ano da categoria. Um estudo prévio encontrou um comportamento similar entre jogadores de futebol classificados como sub-15, sub-16 e sub-18 (FORBES et al., 2009). Na mesma direção desses achados, Carvalho et al. (2012) encontraram que o torque concêntrico e excêntrico dos extensores do joelho em  $60^{\circ}\cdot s^{-1}$  aumenta linearmente durante e após o pico de velocidade em estatura (PVE), enquanto que o torque excêntrico dos flexores do joelho começa a estabilizar entre o primeiro e segundo ano após o PVE em adolescentes jogadores de basquetebol entre 14-16 anos.

Esses resultados têm repercussões e implicações práticas para o desempenho em jogo evidenciando algumas preocupações e cuidados quanto à estabilidade da articulação do joelho e consequente aumento da predisposição para lesões nessa faixa etária, por dois aspectos (1) menores níveis de força dos isquiotibiais, especialmente a excêntrica, têm sido considerado um fator de risco para lesões musculares (e.g. estiramento muscular) (DELEXTRAT; GREGORY; COHEN, 2010; RAHNAMA et al., 2003) e (2) jogadores próximo ou além do período de maior crescimento somático (i.e. PVE), que é o caso dos jogadores do presente estudo, parecem ter uma vulnerabilidade maior em relação às incidências de lesões (VAN DER SLUIS et al., 2014). Como aplicação prática, esse achado destaca a necessidade de preparadores físicos incluírem exercícios específicos em seus programas de treinamento visando especialmente o aumento e/ou manutenção da força excêntrica dos isquiotibiais, garantindo assim uma melhor estabilidade da articulação do joelho principalmente durante movimentos dinâmicos executados em maiores velocidades angulares (IGA et al., 2009). Tem sido sugerido que é possível incorporar esses exercícios durante o aquecimento das sessões de treinamento, sem interferir diretamente no pouco tempo disponível que o treinador possui para treinar fundamentos técnicos e táticos previamente planejados (OLSEN et al., 2005).

Essas diferenças relacionadas à idade mencionada acima sobre a produção do torque muscular durante as ações musculares isométricas e dinâmicas (concêntrica e excêntrica) têm sido diretamente

relacionadas às variações interindividuais em parâmetros geométricos (BÉNARD et al., 2011; KANNAS et al., 2010), morfológicos (BARRET; HARRISON, 2002; O'BRIEN et al., 2010b), neurais (DOTAN et al., 2012; SEGER; THORSTENSSON, 2000) e mecânicos (WAUGH et al., 2013) do sistema neuromuscular e/ou musculoesquelético durante a infância e a puberdade. Além disso, as variações associadas ao tamanho corporal (e.g. massa corporal, massa livre de gordura e estatura) durante a puberdade tem sido outro parâmetro dimensional que interfere positivamente no desenvolvimento do torque muscular (HOUSH et al., 1996; WEIR et al., 1999).

Weir et al. (1999) observaram que a idade cronológica e a massa livre de gordura são positivamente relacionados com o torque muscular em adolescentes lutadores de *wrestling*. Esse grupo de autores também encontrou que após separar esses lutadores em dois grupos etários distintos (8 a 13 anos e 14 a 18 anos), os aumentos no torque muscular dos extensores do joelho acompanhavam os aumentos da idade cronológica dentro de cada faixa etária independentemente dos ganhos na massa livre de gordura. Resultados similares têm sido relatados por outros estudos mostrando que os aumentos do torque durante a infância e adolescência são maiores que àqueles esperados a partir dos aumentos nas medidas de tamanho corporal (HOUSH et al., 1996; KANEHISA et al., 1994; PAASUKE; ERELINE; GAPEYEVA, 2001), sugerindo assim que outros fatores “qualitativos” relacionados ao sistema neuromuscular (e.g. a ativação e recrutamento das unidades motoras e propriedades da arquitetura muscular) seriam os mecanismos responsáveis para justificar os maiores níveis de força de adultos e adolescentes comparado às crianças (KANEHISA et al., 1994; PAASUKE; ERELINE; GAPEYEVA, 2001; PÄÄSUKE; ERELINE; GAPEYEVA, 2000).

Cohen et al. (2010) descreveram que o menor torque isométrico dos extensores do joelho em meninos (10 anos de idade) em relação aos adultos, deve-se em parte, ao menor nível de ativação muscular observado nos 30ms iniciais da atividade eletromecânica, indicando indiretamente uma menor capacidade de recrutamento das unidades motoras durante a infância (WAUGH et al., 2013). Particularmente em nosso estudo realizado com adolescentes treinados entre 14-15 anos, a taxa de ativação muscular do vasto lateral e do bíceps femoral analisada nos 30ms iniciais durante a ação isométrica dos extensores e flexores do joelho, respectivamente, não variou entre os grupos etários (Figura 3). Além disso, as variações associadas à maturação esquelética e ao tamanho corporal também não exerceram nenhum efeito sobre a taxa de ativação muscular. Como a ativação muscular agonista não foi avaliada

durante as contrações dinâmicas, os nossos resultados ficam exclusivamente restritos à ação muscular isométrica. Esse comportamento similar na taxa de ativação muscular durante a ação isométrica entre os jogadores classificados em diferentes grupos etários, maturacionais e de tamanho corporal é consistente com o comentário realizado recentemente por Bassa et al. (2013), os quais sugerem que as diferenças relacionadas à idade e à maturação biológica sobre a taxa de ativação muscular tende a desaparecer ao final da puberdade e passam a adquirir um padrão similar àqueles observados em adultos (PÄÄSUKE; ERELIN; GAPEYEVA, 2000). Apesar de não ter sido avaliada no presente estudo, essa sugestão parece ser sustentada por outro estudo que utilizou técnicas mais precisas (e.g. estimulação elétrica ou magnética) para avaliar o nível de ativação neural voluntária (BLIMKIE; SALE; BAR-OR, 1990). Esses estudos têm mostrado que meninos adolescentes ao final da puberdade ( $16,5 \pm 1,0$  anos) já conseguem ativar voluntariamente um percentual similar de suas unidades motoras dos extensores do joelho (entre 89% e 100%) (BLIMKIE; SALE; BAR-OR, 1990) quando comparado aos adultos (85%-100%) (STRECKIS; SKURVYDAS; RATKEVICIUS, 2007).

Enquanto alguns estudos sugerem que as diferenças relacionadas à idade sobre o torque muscular é explicada por mudanças qualitativas do sistema neuromuscular durante a puberdade (KANEHISA et al., 1994; PAASUKE; ERELIN; GAPEYEVA, 2001; PÄÄSUKE; ERELIN; GAPEYEVA, 2000), na amostra do presente estudo, todas as diferenças relacionadas à idade sobre o torque muscular desapareceram quando a massa corporal e o volume total da coxa estimado foram separadamente utilizados como covariável na análise estatística. Por exemplo, comparado com a situação sem nenhuma covariável, reduções médias de  $44,4 \pm 5,9\%$  e  $57,4 \pm 9,3\%$  foram notadas para os valores de *effect size* do  $PT_{ISO-E}$ ,  $PT_{ISO-F}$ ,  $PT_{CON-E}$  e  $PT_{EXC-E}$  entre os grupos etários quando a massa corporal e o volume total da coxa estimado foram separadamente controlados, respectivamente (Figura 2). De Ste Croix et al. (2002) têm demonstrado também que a idade cronológica não foi uma variável explicativa do torque muscular concêntrico dos extensores e flexores do joelhos quando a massa corporal e a estatura foram apropriadamente controladas em adolescentes de 10-14 anos. Recentemente, Cunha (2011) também encontrou que a idade cronológica não foi uma variável explicativa do torque muscular concêntrico e excêntrico dos extensores de joelho quando o efeito da massa corporal foi removido utilizando um expoente alométrico específico calculado para àquela amostra de jogadores de

futebol entre 14,5 e 16,5 anos classificados como púberes e pós-púberes. Dessa forma, parece que ao final da puberdade as variações relacionadas à idade sobre o torque muscular parecem ser mais dependentes de parâmetros morfológicos (BARRET; HARRISON, 2002; CUNHA, 2011; DE STEX CROIX et al., 2002; TONSON et al., 2008). Essas últimas evidências até então apresentadas aqui são consistentes com o argumento que o torque ou a força que pode ser gerada pelo sistema musculoesquelético é primariamente uma função da quantidade ou do tamanho muscular (O'BRIEN et al., 2010b).

O desenvolvimento do torque muscular durante o período da puberdade também pode ser influenciado pelo processo de crescimento e maturação biológica (CARLING; LE GALL; MALINA, 2012; CARVALHO et al., 2012). Portanto, a utilização da idade cronológica exclusivamente parece apresentar importantes limitações quando se tem o propósito de avaliar o crescimento e a maturação biológica de adolescentes (MALINA; BOUCHARD; BAR-OR, 2004). Dessa forma, a necessidade de avaliar de forma mais precisa as variações interindividuais em relação ao ritmo com que o indivíduo progride em direção ao estado maturo é essencial em estudos com adolescentes (BAXTER-JONES; EISENMANN; SHERAR, 2005; MALINA, 1994). A idade esquelética talvez seja o melhor indicador de maturidade biológica, pois pode ser utilizada durante todo o período de crescimento somático (MALINA, 2011). Na literatura científica tem sido extensivamente documentado que existem amplas variações interindividuais na idade esquelética de adolescentes jogadores de futebol da mesma idade cronológica, as quais podem variar em até 4 ou 5 anos (MALINA, 2011; MALINA et al., 2000, 2010). Essa mesma tendência foi confirmada no presente estudo.

Atletas que estão com a idade esquelética avançada em relação a sua idade cronológica naturalmente tendem a apresentar maior estatura, maior massa corporal, maiores potência e velocidade que seus companheiros de mesma idade cronológica que se encontram atrasados na maturação esquelética (CARLING; LE GALL; MALINA, 2012; FIGUEIREDO et al., 2009; MALINA et al., 2000; MATTHYS et al., 2012). Entretanto, informações sobre a relação entre a idade esquelética, como um indicador preciso de maturidade biológica, e o torque muscular isométrico, concêntrico e excêntrico em adolescentes jogadores de futebol ainda são limitadas. Carling et al. (2011) avaliaram 158 adolescentes de jogadores de futebol bem treinados entre os anos de 1992 e 2003 em diversas variáveis de desempenho físico em testes de campo e laboratório. Esses autores talvez tenham sido os primeiros a



descrever a influência da maturação esquelética sobre o torque muscular concêntrico dos extensores do joelho em jogadores de futebol. Deve ser ressaltado que nesse estudo de Carling et al. (2011) a avaliação do torque excêntrico dos extensores e flexores do joelho não foi contemplada. Como esperado, os jogadores classificados como adiantados na maturação esquelética produziram um maior torque concêntrico absoluto comparado aos jogadores normomaturados e atrasados, que também diferiram entre si. Quando a estatura e a massa corporal foram utilizadas como covariáveis na análise estatística, as diferenças entre os grupos de maturidade esquelética para o torque muscular diminuíram, porém ainda eram significantes (adiantados > normomaturados = atrasados).

Nossos resultados também mostraram que o torque muscular concêntrico dos extensores do joelho foi a única variável significativamente maior ( $F=5,85$ ,  $p=0,02$ ) para os jogadores adiantados na maturação esquelética ( $207,7 \pm 25,5$  Nm) comparado com seus companheiros normomaturados ( $183,3 \pm 42,3$  Nm) quando nenhuma covariável foi utilizada na ANOVA *one-way* (dados não apresentados nos resultados). Entretanto, após inserir a idade cronológica, a massa corporal e o volume total da coxa estimado como covariáveis, nenhuma diferença significativa foi aparente para o torque isométrico, concêntrico e excêntrico dos extensores e flexores do joelho entre os dois grupos maturacionais (Tabela 4). Diferentemente do estudo de Carling et al. (2011), jogadores classificados como atrasados na maturação esquelética não foram considerados na análise do presente estudo o que pode parcialmente limitar nossos resultados e possíveis comparações. Porém, ambos os estudos foram consistentes em mostrar que as diferenças entre os grupos maturacionais estão fortemente relacionadas com as variações no tamanho corporal. Essa afirmação também pode ser confirmada pelos achados de Carvalho et al. (2012) mostrando que as diferenças relacionadas à maturação somática no torque muscular em adolescentes jogadores de basquetebol entre 14,5 e 16,5 anos são mediadas pelas variações na massa corporal e no volume total da coxa estimado.

Essa relação entre o torque muscular e as variações no tamanho corporal ficou bem evidente no presente estudo quando diferenças significantes foram encontradas para o torque concêntrico e excêntrico dos extensores e flexores do joelho entre os jogadores com menor MC e maior MC mesmo após controlar a influência da idade cronológica, da maturação esquelética e do volume total de coxa estimado (Tabela 5). Apesar da diferença entre as populações, resultados similares têm sido observados entre adolescentes não treinados mostrando que indivíduos

obesos produzem maior torque muscular absoluto que seus companheiros da mesma idade cronológica classificados como peso normal (ABDELMOULA et al., 2012; MAFFIULETTI et al., 2008; TSIROS et al., 2013). A principal justificativa para o maior torque muscular de adolescentes com maior MC tem sido atribuída a sua maior quantidade de massa livre de gordura (e provavelmente maior área de secção transversa fisiológica) (MAFFIULETTI et al., 2008). Essa afirmação foi parcialmente confirmada no nosso estudo, uma vez que após utilizar a massa livre de gordura como covariável, as diferenças para o torque muscular entre os grupos de tamanho corporal desapareceram ( $P > 0,05$ ), com exceção do torque excêntrico dos extensores do joelho que ainda foi significativamente maior para os jogadores com maior MC comparado com os seus companheiros de menor MC (dados não apresentados nos resultados).

Pela natureza intermitente do futebol incluir inúmeros esforços que requerem ações musculares de característica explosiva (e.g. saltos, chutes e *sprints*), a TDT isométrica obtida a partir da relação torque-tempo tem sido considerada outro componente neuromuscular determinante para o desempenho físico no futebol (AAGAARD et al., 2002; GRECO et al., 2012; THORLUND; AAGAARD; MADSEN, 2009).

A TDT voluntária é um parâmetro neuromuscular influenciada por uma variedade de características fisiológicas, as quais incluem o tipo de fibra muscular, a área de secção transversa fisiológica do músculo, a força muscular, as propriedades mecânicas do tendão e a condução do estímulo neural (ANDERSEN; AAGAARD, 2006; ANDERSEN et al., 2010). Esses autores têm demonstrado em adultos jovens que a TDT analisada durante os períodos iniciais ( $< 50$ ms) é modulada principalmente por aspectos neurais e pelas propriedades intrínsecas do músculo, enquanto que a força máxima (ou pico de torque) explica entre 52-81% da variância interindividual na TDT determinada nos períodos de tempo acima de 100ms. No presente estudo foi observado que o pico de torque representa apenas 10-29% da variância na TDT analisada nos intervalos de tempo entre 0-30ms e 0-50ms, enquanto que o mesmo pico de torque explica entre 43% e 70% da variação interindividual da TDT dos extensores e flexores do joelho nos intervalos de tempo entre 0-100, 0-150, 0-200 e 0-250ms. Dessa forma, é possível inferir que os mecanismos que determinam a TDT em adultos provavelmente são similares em crianças e adolescentes.

O maior número de informações disponíveis na literatura a respeito da TDT tem sido até o presente momento documentado em

adultos jovens treinados e não treinados (AAGAARD et al., 2002; ANDERSEN; AAGAARD, 2006; ANDERSEN et al., 2010; GRECO et al., 2012; THORLUND; AAGAARD; MADSEN, 2009). Embora em menor número, existem também alguns estudos com a população pediátrica, principalmente em crianças pré-púberes, ou seja, na transição entre o final da infância e o início da adolescência (COHEN et al., 2010; DOTAN et al., 2013a, 2013b; MITCHELL et al., 2011).

Tradicionalmente, o sistema locomotor humano passa por constantes mudanças relacionadas à idade que influenciam diretamente a sua função motora, de modo que o desempenho físico de crianças pré-púberes melhore progressivamente com o aumento da idade (MALINA; BOUCHARD; BAR-OR, 2004). É evidente que crianças produzem um torque máximo menor que os adultos (O'BRIEN et al., 2010b), assim como também tem sido relatado que a cinética de desenvolvimento do torque é mais lenta para crianças quando comparado aos adultos. Consequentemente, a taxa de desenvolvimento torque pico e determinada em diferentes intervalos de tempo tende a seguir o mesmo padrão (DOTAN et al., 2013a, 2013b; WAUGH et al., 2013). Apesar dos méritos e contribuição para o entendimento das diferenças relacionadas à idade, esses estudos tem se limitado a comparar apenas crianças e adultos, desconsiderando assim importantes mudanças que ocorrem com o sistema neuromuscular durante o processo de crescimento e maturação biológica. Além disso, os anos da adolescência são caracterizados como um período sensível para o treinamento e desenvolvimento da força máxima e força explosiva (FORD et al., 2011a; PHILIPPAERTS et al., 2006). Até o presente momento, estudos analisando possíveis efeitos da idade cronológica, da maturação esquelética e do tamanho corporal sobre a TDT em meninos no meio e/ou final da puberdade envolvidos na prática regular de um esporte formal são limitados na literatura.

Os valores da TDT observados para a nossa amostra de adolescentes jogadores de futebol é obviamente maior que àqueles reportados em crianças (COHEN et al., 2010; DOTAN et al., 2013b), porém similares aos valores descritos em adultos jovens não treinados (ANDERSEN; AAGAARD, 2006). Esses resultados podem retratar indiretamente o bom nível de treinamento dos adolescentes jogadores de futebol que compõem a amostra do presente estudo.

Nossos achados foram consistentes com os estudos prévios mostrando que a idade influencia a TDT dos extensores do joelho (COHEN et al., 2010; DOTAN et al., 2013b). Os jogadores mais velhos (sub-16) do presente estudo tiveram maior TDT no pico e nos intervalos

de tempo a partir de 100ms comparado aos seus companheiros mais jovens (Sub-15) que treinam e competem na mesma categoria etária (Figura 4a). Entretanto, deve ser destacado que a TDT absoluta dos extensores do joelho no período de tempo entre 0-30ms e 0-50ms não diferiu entre os grupos etários. Parecem existir duas justificativas plausíveis para explicar essa semelhança entre os grupos etários. Primeira, como o pico de torque explica menos que 30% das variações na TDT no período de 0-30ms e 0-50ms, essa variável não parece ser o mecanismo determinante da TDT nos momentos iniciais da contração muscular. Segunda, é provável que ao final da puberdade, em razão das adaptações ao treinamento e/ou do processo de maturação neuromuscular, os principais mecanismos determinantes da TDT no início da contração muscular (*e.g. drive* neural eferente e propriedades contráteis intrínsecas do músculo) já tenham um padrão similar entre os jogadores dos dois grupos etários analisados neste estudo (ANDERSEN; AAGAARD, 2006; BASSA et al., 2013; PÄÄSUKE; ERELIN; GAPEYEVA, 2000). Por outro lado, as diferenças relacionadas à idade para a TDT dos extensores do joelho no pico e nos intervalos de tempo entre 0-100, 0-150, 0-200 e 0-250ms podem ser atribuídas principalmente ao maior torque isométrico do grupo sub-16 em relação aos jogadores do sub-15, uma vez que no atual estudo o pico de torque explicou mais de 50% da variação interindividual da TDT nestes respectivos momentos. Comportamento similar já havia sido demonstrado em um estudo prévio (ANDERSEN; AAGAARD, 2006). Essa afirmação também pode ser confirmada a partir da figura 4c ilustrando que todas as diferenças entre os dois grupos etários desapareceram após a TDT dos extensores do joelho ser normalizada pelo pico de torque.

A maturação biológica tem sido também considerada um importante parâmetro no controle e prescrição do treinamento (FORD et al., 2011b), assim como usada por treinadores no processo de seleção e identificação de jovens talentos durante a adolescência (COELHO-E-SILVA et al., 2012; REILLY et al., 2000; VAEYENS et al., 2006; VANDENDRIESSCHE et al., 2012). Ainda, uma das principais razões para monitorar a maturação biológica de jovens atletas parece ser relacionada às diferenças contrastantes em variáveis relacionadas ao tamanho corporal e à capacidade física entre jogadores da mesma idade cronológica classificados em diferentes níveis de maturidade biológica (CARLING; LE GALL; MALINA, 2012; FIGUEIREDO et al., 2009, 2010; MALINA et al., 2004; MATTHYS et al., 2012). Essas vantagens físicas dos jogadores com maturação precoce acabam se refletindo em

melhor desempenho físico durante as diversas ações de alta intensidade realizada no jogo (GASTIN; BENNETT; COOK, 2013). Baseado nesse suporte teórico, nossa hipótese inicial era que a TDT seguiria o mesmo padrão e que diferenças significantes entre os grupos de maturidade esquelética seriam notadas. Entretanto, a TDT dos extensores e flexores do joelho no presente estudo se mostrou independente das variações no nível de maturidade esquelética. Como o nosso estudo parece ser o primeiro a investigar as variações relacionadas à maturação esquelética sobre a TDT, comparações com estudos prévios ficam limitadas. Embora a ausência do grupo de jogadores com maturação tardia na nossa amostra de jogadores não deva ser descartada, a explicação mais provável pra similaridade nos valores da TDT entre os dois grupos maturacionais pode ser devido à homogeneidade em relação às características maturacionais (perceba que somente dois jogadores são atrasados) e similaridade em horas de treinamento semanal dos jogadores do atual estudo. Essa afirmação é consistente com o argumento de estudos prévios mostrando que os programas de identificação de talentos são bem seletivos, priorizando jogadores adiantados no processo maturacional e com níveis de treinamento e desempenho físico parecido (DEPREZ et al., 2012; MALINA et al., 2000).

Similarmente às variáveis de torque concêntrico e excêntrico, a TDT absoluta dos extensores do joelho foi influenciada pelas variações relacionadas ao tamanho corporal mesmo após controlar a influência da idade, da maturação esquelética e do volume total da coxa estimado. Por outro lado, quando a TDT foi expressa de forma relativa ao torque isométrico as diferenças entre os grupos de tamanho corporal diminuíram e não foram significantes (Figura 8). Dessa forma, nossos resultados sugerem que essas diferenças relacionadas ao tamanho corporal para a TDT é modulada pelas variações no pico de torque isométrico. Se considerarmos que o principal parâmetro fisiológico que determina o pico de torque isométrico é a área de secção transversa fisiológica (O'BRIEN et al., 2010b), é bem provável que a TDT durante os intervalos de tempo acima de 100ms a partir do início da contração muscular seja também altamente influenciado pela quantidade de tecido contrátil por unidade de área muscular conforme sugerido previamente por Andersen e Aagaard (2006).

Diante de todos os méritos do presente estudo, algumas limitações metodológicas devem ser consideradas. Primeiro, o volume total da coxa foi mensurado indiretamente por meio de técnicas antropométricas ao invés de um protocolo de avaliação mais preciso

como, por exemplo, imagens de ressonância magnética. Segundo, embora a idade esquelética seja o melhor indicador de maturidade biológica descrito na literatura sua determinação é dispendiosa financeiramente e requer equipamentos e interpretação especializada, fatores esses que pode limitar sua aplicação em situações de campo. Terceiro, outras variáveis determinantes da função muscular como, por exemplo, propriedades mecânicas do tendão e parâmetros da arquitetura muscular não foram avaliadas no presente estudo, limitando em parte nossa discussão dos resultados.

## 6.0 CONCLUSÃO

A partir de nossos resultados, concluem-se que embora os parâmetros neuromusculares relacionados à força máxima (*i.e.* pico de torque) e à capacidade de produzir força rápida (*i.e.* taxa de desenvolvimento do torque) sejam influenciados diretamente pelas variações relacionadas à idade e ao tamanho corporal, essas diferenças parecem ser dependentes do grupo muscular envolvido (extensores ou flexores do joelho).

Além disso, a maturação esquelética não exerceu efeito para o torque muscular isométrico e dinâmico, nem para a TDT de ambos os grupos musculares. De maneira similar, a taxa de ativação muscular do vasto lateral e do bíceps femoral determinada durante a ação isométrica não variou entre os jogadores classificados em diferentes grupos etários, maturacionais e de tamanho corporal ao final da puberdade.

Por fim, nossos resultados sugerem que as diferenças entre os grupos etários, maturacionais e de tamanho corporal para o torque muscular isométrico e dinâmico, e para a TDT são explicadas, respectivamente, pelas variações associadas ao tamanho corporal (*i.e.* massa corporal, massa livre de gordura e volume total da coxa estimado) e aos níveis de força muscular isométrica.

## REFERÊNCIAS

AAGAARD, P.; SIMONSEN, E. B.; ANDERSEN, J. L.; MAGNUSSEN, P.; DYHRE-POULSEN, P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. **Journal of Applied Physiology**, v. 93, n. 4, p. 1318–26, 2002.

ABDELMOULA, A.; MARTIN, V.; BOUCHANT, A.; et al. Knee extension strength in obese and nonobese male adolescents. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 37, n. 2, p. 1–7, 2012.

ANDERSEN, L. L.; AAGAARD, P. Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. **European Journal of Applied Physiology**, v. 96, n. 1, p. 46–52, 2006.

ANDERSEN, L. L.; ANDERSEN, J. L.; ZEBIS, M. K.; AAGAARD, P. Early and late rate of force development: differential adaptive responses to resistance training? **Scandinavian Journal of Medicine & Science In Sports**, v. 20, n. 1, p. e162–9, 2010.

ANDERSSON, H.; EKBLOM, B.; KRUSTRUP, P. Elite football on artificial turf versus natural grass: movement patterns, technical standards, and player impressions. **Journal of Sports Sciences**, v. 26, n. 2, p. 113–22, 2008.

BANGSBO, J.; NØRREGAARD, L.; THORSØ, F. Activity profile of competition soccer. **Canadian journal of Sport Sciences**, Jun. 1991.

BÁRÁNY, M. ATPase activity of myosin correlated with speed of muscle shortening. **The Journal of General physiology**, v. 50, n. 6, p. Suppl:197–218, 1967.

BARRET, U.; HARRISON, A. Comparing muscle function of children and adults: Effects of scaling for muscle size. **Pediatric Exercise Science**, v. 14, p. 369–376, 2002.

BASSA, E.; PATIKAS, D.; HATZIKOTOULAS, K.; KOTZAMANIDIS, C. Commentary on “child-adult differences in muscle activation--a review”. **Pediatric Exercise Science**, v. 25, n. 3, p. 332–6, 2013.

BASSA, E.; PATIKAS, D.; KOTZAMANIDIS, C. Activation of Antagonist Knee Muscles During Isokinetic Efforts in Prepubertal and Adult Males. **Pediatric Exercise Science**, v. 17, n. 2, p. 171–181, 2005.

BATTERHAM, A. M.; HOPKINS, W. G. Making meaningful inferences about magnitudes. **International Journal of Sports Physiology And Performance**, v. 1, p. 50–57, 2006.

BAXTER-JONES, A. D. G.; EISENMANN, J. C.; SHERAR, L. B. Controlling for Maturation in Pediatric Exercise Science. **Pediatric Exercise Science**, v. 17, n. 1, p. 18–30, 2005.

BAXTER-JONES, A. D. G.; THOMPSON, A. M.; MALINA, R. M. Growth and Maturation in Elite Young Female Athletes. **Sports Medicine and Arthroscopy Review**, v. 10, n. 1, p. 42–49, 2002.

BELANGER, A. Y.; MCCOMAS, A. J. Contractile properties of human skeletal muscle in childhood and adolescence. **European Journal of Applied Physiology**, v. 58, n. 6, p. 563–567, 1989.

BÉNARD, M. R.; HARLAAR, J.; BECHER, J. G.; HUIJING, P. A.; JASPERS, R. T. Effects of growth on geometry of gastrocnemius muscle in children: a three-dimensional ultrasound analysis. **Journal of Anatomy**, v. 219, n. 3, p. 388–402, 2011.

BERGMANN, G. G.; GARLIPP, D. C.; MARÇAL, G.; GAYA, A. Crescimento somático de crianças e adolescentes brasileiros. **Revista Brasileira de Saude Materno Infantil**, v. 9, n. 1, p. 85–93, 2009.

BEUNEN, G.; MALINA, R. M. Growth and physical performance relative to the timing of the adolescent spurt. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v. 16, p. 503–540, 1988.

BINZONI, T.; BIANCHI, S.; HANQUINET, S.; KAELIN, A.; SAYEGH, Y.; DUMONT, M.; JÉQUIER, S. Human gastrocnemius medialis pennation angle as a function of age: from newborn to the elderly. **Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science**, v. 20, n. 5, p. 293–8, 2001.



- BLAZEVIICH, A. J. Effects of physical training and detraining, immobilisation, growth and aging on human fascicle geometry. **Sports Medicine**, v. 36, n. 12, p. 1003–17, 2006.
- BLIMKIE, C. J. R.; SALE, D. G.; BAR-OR, O. Voluntary strength, evoked twitch contractile properties and motor unit activation of knee extensors in obese and non-obese adolescent males. **European Journal of Applied Physiology**, v. 61, n. 3-4, p. 313–318, 1990.
- BLOOMFIELD, J.; POLMAN, R.; DONOGHUE, P. O.; SHUF, S. Deceleration movements performed during FA Premier League soccer matches. **Journal of Sports Science and Medicine**, , n. 10, p. 6–11, 2007.
- BLOOMFIELD, J.; POLMAN, R.; O'DONOGHUE, P. Physical Demands of Different Positions in FA Premier League Soccer. **Journal of Sports Science & Medicine**, v. 6, n. 1, p. 63–70, 2007.
- BUCHHEIT, M.; MENDEZ-VILLANUEVA, A; SIMPSON, B. M.; BOURDON, P. C. Repeated-sprint sequences during youth soccer matches. **International Journal of Sports Medicine**, v. 31, n. 10, p. 709–16, 2010.
- BUCHHEIT, M.; MENDEZ-VILLANUEVA, A; SIMPSON, B. M.; BOURDON, P. C. Match running performance and fitness in youth soccer. **International Journal of Sports Medicine**, v. 31, n. 11, p. 818–25, 2010.
- CACCIARI, E.; MAZZANTI, L.; TASSINARI, D.; et al. Effects of sport (football) on growth: auxological, anthropometric and hormonal aspects. **European Journal of Applied Physiology**, v. 61, n. 1-2, p. 149–58, 1990.
- CAMARDA, S. R. DE A.; DENADAI, B. S. Does muscle imbalance affect fatigue after soccer specific intermittent protocol? **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 15, n. 4, p. 355–60, 2012. Sports Medicine Australia.
- CARLING, C.; LE GALL, F.; MALINA, R. M. Body size, skeletal maturity, and functional characteristics of elite academy soccer players on entry between 1992 and 2003. **Journal of Sports Sciences**, v. 30, n. 15, p. 1683–93, 2012.
- CARVALHO, H. M.; COELHO-E-SILVA, M.; VALENTE-DOS-SANTOS, J.; et al. Scaling lower-limb isokinetic strength for biological

maturation and body size in adolescent basketball players. **European Journal of Applied Physiology**, v. 112, n. 8, p. 2881–9, 2012.

CARVALHO, H. M.; SILVA, M. J. C. E.; RICARDO, E.; et al. Assessment of Reliability in Isokinetic Testing. **Medicina (Kaunas)**, v. 47, n. 8, p. 446–452, 2011.

CASTAGNA, C.; D'OTTAVIO, S.; ABT, G. Activity profile of young soccer players during actual match play. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 17, n. 4, p. 775–780, 2003.

CASTAGNA, C.; IMPELLIZZERI, F. M.; CECCHINI, E.; RAMPININI, E.; BARBERO ALVAREZ, J. C. Effects of intermittent-endurance fitness on match performance in young male soccer players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 23, n. 7, p. 1954–1959, 2009.

CASTAGNA, C.; MANZI, V.; IMPELLIZZERI, F. M.; WESTON, M.; BARBERO ALVAREZ, J. C. Relationship between endurance field tests and match performance in young soccer players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 24, n. 12, p. 3227–3233, 2010.

CHOW, R. S.; MEDRI, M. K.; MARTIN, D. C.; et al. Sonographic studies of human soleus and gastrocnemius muscle architecture: gender variability. **European Journal of Applied Physiology**, v. 82, n. 3, p. 236–44, 2000.

CHRISTOU, M.; SMILIOS, I.; SOTIROPOULOS, K.; et al. Effects of resistance training on the physical capacities of adolescent soccer players. **Journal of strength and conditioning research**, v. 20, n. 4, p. 783–91, 2006.

COELHO-E-SILVA, M. J.; VAZ, V.; SIMÕES, F.; et al. Sport selection in under-17 male roller hockey. **Journal of Sports Sciences**, v. 30, n. 16, p. 1793–802, 2012.

COHEN, R.; MITCHELL, C.; DOTAN, R.; et al. Do neuromuscular adaptations occur in endurance trained boys and men.pdf. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 35, n. 4, p. 471–479, 2010.

COMETTI, G.; MAFFIULETTI, N. A.; POUSSON, M.; CHATARD, J. C.; MAFFULLI, N. Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite

and amateur French soccer players. **International Journal of Sports Medicine**, v. 22, n. 1, p. 45–51, 2001.

CUNHA, G. D. S. **Efeito da maturação biológica sobre o consumo máximo de oxigênio, limiares ventilatórios e torque muscular em jogadores de futebol**, 2011. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

DAVIES, C. T.; WHITE, M. J.; YOUNG, K. Muscle function in children. **European Journal of Applied Physiology**, v. 52, n. 1, p. 111–4, 1983.

DELESTRAT, A.; GREGORY, J.; COHEN, D. The use of the functional H:Q ratio to assess fatigue in soccer. **International Journal of Sports Medicine**, v. 31, n. 3, p. 192–7, 2010.

DEPREZ, D.; VAEYENS, R.; COUTTS, A J.; LENOIR, M.; PHILIPPAERTS, R. Relative age effect and Yo-Yo IR1 in youth soccer. **International Journal of Sports Medicine**, v. 33, n. 12, p. 987–93, 2012.

DOTAN, R.; MITCHELL, C.; COHEN, R.; et al. Child-adult differences in muscle activation--a review. **Pediatric Exercise Science**, v. 24, n. 1, p. 2–21, 2012.

DOTAN, R.; MITCHELL, C.; COHEN, R.; et al. Child-adult differences in the kinetics of torque development. **Journal of Sports Sciences**, v. 31, n. 9, p. 945–53, 2013.

DOTAN, R.; MITCHELL, C. J.; COHEN, R.; et al. Explosive sport training and torque kinetics in children. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 38, n. 7, p. 740–745, 2013.

ELLENBECKER, T. S.; ROETERT, E. P.; SUEYOSHI, T.; RIEWALD, S. A descriptive profile of age-specific knee extension flexion strength in elite junior tennis players. **British Journal of Sports Medicine**, v. 41, n. 11, p. 728–32, 2007.

FALK, B.; BRUNTON, L.; DOTAN, R.; et al. Muscle strength and contractile kinetics of isometric elbow flexion in girls and women. **Pediatric Exercise Science**, v. 21, n. 3, p. 354–64, 2009.

FIGUEIREDO, A. J.; COELHO E SILVA, M. J.; CUMMING, S. P.; MALINA, R. M. Size and maturity mismatch in youth soccer players 11- to 14-years-old. **Pediatric Exercise Science**, v. 22, n. 4, p. 596–612, 2010.

FIGUEIREDO, A. J.; GONÇALVES, C. E.; COELHO E SILVA, M. J.; MALINA, R. M. Youth soccer players, 11-14 years: maturity, size, function, skill and goal orientation. **Annals of Human Biology**, v. 36, n. 1, p. 60–73, 2009.

FORBES, H.; BULLERS, A; LOVELL, A; et al. Relative torque profiles of elite male youth footballers: effects of age and pubertal development. **International Journal of Sports Medicine**, v. 30, n. 8, p. 592–7, 2009.

FORD, P.; DE STE CROIX, M.; LLOYD, R.; et al. The long-term athlete development model: physiological evidence and application. **Journal of Sports Sciences**, v. 29, n. 4, p. 389–402, 2011a.

FORD, P.; DE STE CROIX, M.; LLOYD, R.; et al. The long-term athlete development model: physiological evidence and application. **Journal of Sports Sciences**, v. 29, n. 4, p. 389–402, 2011b.

GABRIEL, D. A; BASFORD, J. R.; AN, K. Training-related changes in the maximal rate of torque development and EMG activity. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 11, n. 2, p. 123–9, 2001.

GASTIN, P. B.; BENNETT, G.; COOK, J. Biological maturity influences running performance in junior Australian football. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 16, n. 2, p. 140–5, 2013. Sports Medicine Australia.

GISSIS, I.; PAPADOPOULOS, C.; KALAPOTHARAKOS, V. I.; et al. Strength and speed characteristics of elite, subelite, and recreational young soccer players. **Research in Sports Medicine**, v. 14, n. 3, p. 205–14, 2006.

GRECO, C. C.; SILVA, W. L. DA; CAMARDA, S. R. A.; DENADAI, B. S. Rapid hamstrings / quadriceps strength capacity in professional soccer players with different conventional isokinetic muscle strength ratios. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 11, n. 3, p. 418–422, 2012.

GREIG, M. The influence of soccer-specific fatigue on peak isokinetic torque production of the knee flexors and extensors. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 36, n. 7, p. 1403–9, 2008.

GREULICH, W. W.; PYLE, S. I. **Radiographic Atlas of Skeletal Development of the Hand and Wrist**. 2<sup>a</sup> ed. Stanford, CA: Stanford University Press, 1959.

GROSSET, J. F.; MORA, I.; LAMBERTZ, D.; PÉROT, C. Voluntary activation of the triceps surae in prepubertal children. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 18, n. 3, p. 455–65, 2008.

GROSSET, J.-F.; MORA, I.; LAMBERTZ, D.; PEROT, C. Age-related changes in twitch properties of plantar flexor muscles in prepubertal children. **Pediatric Research**, v. 58, n. 5, p. 966–70, 2005.

HANSEN, L.; BANGSBO, J.; TWISK, J.; et al. Development of muscle strength in relation to training level and testosterone in young male soccer players. **Journal of Applied Physiology**, v. 87, n. 3, p. 1141–1147, 1999.

HARRIDGE, S. D.; BOTTINELLI, R.; CANEPARI, M.; et al. Whole-muscle and single-fibre contractile properties and myosin heavy chain isoforms in humans. **Pflügers Archiv : European Journal of Physiology**, v. 432, n. 5, p. 913–20, 1996.

HIROSE, N. Relationships among birth-month distribution, skeletal age and anthropometric characteristics in adolescent elite soccer players. **Journal of Sports Sciences**, v. 27, n. 11, p. 1159–66, 2009.

HOLM, I.; STEEN, H.; OLSTAD, M. Isokinetic muscle performance in growing boys from pre-teen to maturity . An eleven-year longitudinal study. **Isokinetic and Exercise Science**, v. 13, n. 2, p. 153–158, 2005.

HOUSH, T. J.; JOHNSON, G. O.; HOUSH, D. J.; et al. Isokinetic Peak Torque in Young Wrestlers. **Pediatric Exercise Science**, v. 8, p. 143–155, 1996.

IGA, J.; GEORGE, K.; LEES, A; REILLY, T. Cross-sectional investigation of indices of isokinetic leg strength in youth soccer players and untrained individuals. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 19, n. 5, p. 714–9, 2009.

IULIANO-BURNS, S.; MIRWALD, R. L.; BAILEY, D. A. Timing and magnitude of peak height velocity and peak tissue velocities for early,

average, and late maturing boys and girls. **American Journal of Human Biology**, v. 13, n. 1, p. 1–8, 2001.

JARIC, S.; MIRKOV, D. M.; MARKOVIC, G. Normalizing physical performance tests for body size: a proposal for standardization. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 19, n. 2, p. 467–474, 2005.

JONES, P. R. M.; PEARSON, J. Anthropometric determination of leg fat and mass plus bone volumes in young male and female adults. **Journal of Physiology**, v. 240, July, p. 63–66, 1969.

KANEHISA, H.; IKEGAWA, S.; TSUNODA, N.; FUKUNAGA, T. Strength and cross-sectional area of knee extensor muscles in children. **European Journal of Applied Physiology**, v. 68, p. 402–405, 1994.

KANNAS, T.; KELLIS, E.; ARAMPATZI, F.; DE VILLARREAL, E. S. S. Medial gastrocnemius architectural properties during isometric contractions in boys and men. **Pediatric Exercise Science**, v. 22, n. 1, p. 152–64, 2010.

KAWAKAMI, Y.; ABE, T.; KANEHISA, H.; FUKUNAGA, T. Human Skeletal Muscle Size and Architecture : Variability and Interdependence. **American Journal of Human Biology**, v. 848, n. April, p. 845–848, 2006.

KELLIS, E.; BALTZOPOULOS, V. Muscle activation difference between eccentric and concentric isokinetic exercise. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 30, n. 11, p. 1616–1623, 1998.

KELLIS, E.; KATIS, A. The relationship between isokinetic knee extension and flexion strength with soccer kick kinematics. **The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 47, n. 4, p. 385–394, 2007.

KELLIS, E.; KELLIS, S.; GERODIMOS, V.; MANOU, V. Reliability of isokinetic concentric and eccentric strength in circumpubertal soccer players. **Pediatric Exercise Science**, v. 11, n. 3, p. 218–228, 1999.

KELLIS, S.; GERODIMOS, V.; KELLIS, E.; MANOU, V. Bilateral isokinetic concentric and eccentric strength profiles of the knee extensors and flexors in young soccer players. **Isokinetic and Exercise Science**, v. 9, n. 1, p. 31–39, 2001.

KOH, T. H.; EYRE, J. A. Maturation of corticospinal tracts assessed by electromagnetic stimulation of the motor cortex. **Archives of Disease in Childhood**, v. 63, n. 11, p. 1347–52, 1988.

KUCZMARSKI, R. J.; OGDEN, C. L.; GUO, S. S.; et al. **2000 CDC Growth Charts for the United States: methods and development**. 2002.

LAMBERTZ, D.; MORA, I.; GROSSET, J.-F.; PEROT, C. Evaluation of musculotendinous stiffness in prepubertal children and adults, taking into account muscle activity. **Journal of Applied Physiology**, v. 95, n. 1, p. 64–72, 2003.

LIEBER, R. L.; FRIDÉN, J. Clinical Significance of Skeletal Muscle Architecture. **Clinical Orthopaedics and Related Research**, , n. 383, p. 140–151, 2001.

MAFFIULETTI, N. A.; JUBEAU, M.; AGOSTI, F.; DE COL, A.; SARTORIO, A. Quadriceps muscle function characteristics in severely obese and nonobese adolescents. **European Journal of Applied Physiology**, v. 103, n. 4, p. 481–4, 2008.

MALINA, R.; BOUCHARD, C.; BAR-OR, O. **Growth, Maturation, and Physical Activity**. 2nd Edition ed. Champaign, IL: Human Kinetics., 2004.

MALINA, R. M. Physical growth and biological maturation of young athletes. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v. 22, p. 389–433, 1994.

MALINA, R. M. **Growth and maturity status of young soccer (football) players**. 2nd ed. London: Routledge, 2003.

MALINA, R. M. Skeletal age and age verification in youth sport. **Sports Medicine**, v. 41, n. 11, p. 925–47, 2011.

MALINA, R. M.; CHAMORRO, M.; SERRATOSA, L.; MORATE, F. TW3 and Fels skeletal ages in elite youth soccer players. **Annals of Human Biology**, v. 34, n. 2, p. 265–72, 2007.

MALINA, R. M.; COELHO E SILVA, M. J.; FIGUEIREDO, A. J.; CARLING, C.; BEUNEN, G. P. Interrelationships among invasive and non-

invasive indicators of biological maturation in adolescent male soccer players. **Journal of Sports Sciences**, v. 30, n. 15, p. 1705–17, 2012.

MALINA, R. M.; CUMMING, S. P.; KONTOS, A. P.; et al. Maturity-associated variation in sport-specific skills of youth soccer players aged 13-15 years. **Journal of Sports Sciences**, v. 23, n. 5, p. 515–22, 2005.

MALINA, R. M.; CUMMING, S. P.; MORANO, P. J.; BARRON, M.; MILLER, S. J. Maturity Status of Youth Football Players : A Noninvasive Estimate. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 37, n. 6, p. 1044–1052, 2005.

MALINA, R. M.; EISENMANN, J. C.; CUMMING, S. P.; RIBEIRO, B.; AROSO, J. Maturity-associated variation in the growth and functional capacities of youth football (soccer) players 13-15 years. **European Journal of Applied Physiology**, v. 91, n. 5-6, p. 555–62, 2004.

MALINA, R. M.; PEÑA REYES, M. E.; EISENMANN, J. C.; et al. Height, mass and skeletal maturity of elite Portuguese soccer players aged 11-16 years. **Journal of Sports Sciences**, v. 18, n. 9, p. 685–93, 2000.

MALINA, R. M.; PEÑA REYES, M. E.; FIGUEIREDO, A. J.; et al. Skeletal age in youth soccer players: implication for age verification. **Clinical Journal of Sport Medicine**, v. 20, n. 6, p. 469–74, 2010.

DI MASCIO, M.; BRADLEY, P. S. Evaluation of the most intense high-intensity running period in English FA premier league soccer matches. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 27, n. 4, p. 909–15, 2013.

MATTHYS, S. P. J.; VAEYENS, R.; COELHO-E-SILVA, M. J.; LENOIR, M.; PHILIPPAERTS, R. The contribution of growth and maturation in the functional capacity and skill performance of male adolescent handball players. **International Journal of Sports Medicine**, v. 33, n. 7, p. 543–549, 2012.

MCCOMAS, A. J.; SICA, R. E. P.; PETITO, F. Muscle strength in boys of different ages. **Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry**, v. 36, p. 171–173, 1973.



MENDEZ-VILLANUEVA, A; BUCHHEIT, M.; SIMPSON, B.;  
BOURDON, P. C. Match play intensity distribution in youth soccer.  
**International Journal of Sports Medicine**, v. 34, n. 2, p. 101–10, 2013.

MENDEZ-VILLANUEVA, A.; BUCHHEIT, M.; KUITUNEN, S.; et al.  
Age-related differences in acceleration, maximum running speed, and  
repeated-sprint performance in young soccer players. **Journal of Sports  
Sciences**, v. 29, n. 5, p. 477–84, 2011.

MERLETTI, R. Standards for Reporting EMG Data. **Journal of  
Electromyography and Kinesiology**, v. 7, n. 2, p. I–II, 1997.

MEYLAN, C.; CRONIN, J.; OLIVER, J.; HUGHES, M. Reviews: Talent  
Identification in Soccer: The Role of Maturity Status on Physical,  
Physiological and Technical Characteristics. **International Journal of  
Sports Science and Coaching**, v. 5, n. 4, p. 571–592, 2010.

MITCHELL, C.; COHEN, R.; DOTAN, R.; et al. Rate of Muscle Activation  
in Power and endurance trained boys. **International Journal of Sports  
Physiology and Performance**, v. 6, n. 1, p. 94–105, 2011.

MOHAGHEGHI, A A; KHAN, T.; MEADOWS, T. H.; et al. In vivo  
gastrocnemius muscle fascicle length in children with and without diplegic  
cerebral palsy. **Developmental Medicine and Child Neurology**, v. 50, n. 1,  
p. 44–50, 2008.

MORSE, C. I.; TOLFREY, K.; THOM, J. M.; et al. Gastrocnemius muscle  
specific force in boys and men. **Journal of Applied Physiology**, v. 104, n.  
2, p. 469–474, 2008.

NEZU, A.; KIMURA, S.; UEHARA, S.; et al. Magnetic stimulation of  
motor cortex in children : maturity of corticospinal pathway and problem of  
clinical application. **Brain and Development**, v. 19, p. 176–180, 1997.

O'BRIEN, T. D.; REEVES, N. D.; BALZZOPOULOS, V.; JONES, D. A;  
MAGANARIS, C. N. The effects of agonist and antagonist muscle  
activation on the knee extension moment-angle relationship in adults and  
children. **European Journal of Applied Physiology**, v. 106, n. 6, p. 849–  
56, 2009.

O'BRIEN, T. D.; REEVES, N. D.; BALTZOPOULOS, V.; JONES, D. A.; MAGANARIS, C. N. In vivo measurements of muscle specific tension in adults and children. **Experimental Physiology**, v. 95, n. 1, p. 202–10, 2010a.

OLSEN, O.-E.; MYKLEBUST, G.; ENGBRETSEN, L.; HOLME, I.; BAHN, R. Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports: cluster randomised controlled trial. **BMJ (Clinical research ed.)**, v. 330, n. 7489, p. 449, 2005.

PAASUKE, M.; ERELIN, J.; GAPEYEVA, H. Knee extensor muscle strength and vertical jumping performance characteristics in pre and post pubertal boys. **Pediatric Exercise Science**, v. 13, n. 1, p. 60–69, 2001.

PÄÄSUKE, M.; ERELIN, J.; GAPEYEVA, H. Twitch contraction properties of plantar flexor muscles in pre- and post-pubertal boys and men. **European Journal of Applied Physiology**, v. 82, n. 5-6, p. 459–64, 2000.

PATEL, J. R.; DIFEE, G. M.; MOSS, R. L. Myosin regulatory light chain modulates the Ca<sup>2+</sup> dependence of the kinetics of tension development in skeletal muscle fibers. **Biophysical Journal**, v. 70, n. 5, p. 2333–40, 1996.

PETROSKI, E. L. **Antropometria: técnicas e padronizações**. 2<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Editora Revista e Ampliada, 2003.

PHILIPPAERTS, R. M.; VAEYENS, R.; JANSSENS, M.; et al. The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. **Journal of Sports Sciences**, v. 24, n. 3, p. 221–30, 2006.

PRICE, R. J.; HAWKINS, R. D.; HULSE, M. A.; HODSON, A. The Football Association medical research programme: an audit of injuries in academy youth football. **British Journal of Sports Medicine**, v. 38, n. 4, p. 466–71, 2004.

RAHNAMA, N.; REILLY, T.; LEES, A.; GRAHAM-SMITH, P. Muscle fatigue induced by exercise simulating the work rate of competitive soccer. **Journal of Sports Sciences**, v. 21, n. 11, p. 933–42, 2003.

RAMPININI, E.; BOSIO, A.; FERRARESI, I.; et al. Match-related fatigue in soccer players. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 43, n. 11, p. 2161–70, 2011.

RAMPININI, E.; COUTTS, A. J.; CASTAGNA, C.; SASSI, R.; IMPELLIZZERI, F. M. Variation in top level soccer match performance. **International Journal of Sports Medicine**, v. 28, n. 12, p. 1018–24, 2007.

REBELO, A.; BRITO, J.; SEABRA, A.; OLIVEIRA, J.; KRUSTRUP, P. Physical match performance of youth football players in relation to physical capacity. **European Journal of Sport Science**, v. 14, n. Suppl 1, p. S148–156, 2014.

REILLY, T.; WILLIAMS, A. M.; NEVILL, A.; FRANKS, A. A multidisciplinary approach to talent identification in soccer. **Journal of Sports Sciences**, v. 18, p. 695–702, 2000.

RODACKI, A. L. F.; FOWLER, N. E.; BENNETT, S. J. Vertical jump coordination: fatigue effects. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 34, n. 1, p. 105–16, 2002.

DI SALVO, V.; BARON, R.; GONZÁLEZ-HARO, C.; et al. Sprinting analysis of elite soccer players during European Champions League and UEFA Cup matches. **Journal of Sports Sciences**, v. 28, n. 14, p. 1489–94, 2010.

DI SALVO, V.; BARON, R.; TSCHAN, H.; et al. Performance characteristics according to playing position in elite soccer. **International Journal of Sports Medicine**, v. 28, n. 3, p. 222–7, 2007a.

DI SALVO, V.; BARON, R.; TSCHAN, H.; et al. Performance characteristics according to playing position in elite soccer. **International Journal of Sports Medicine**, v. 28, n. 3, p. 222–7, 2007b.

DI SALVO, V.; GREGSON, W.; ATKINSON, G.; TORDOFF, P.; DRUST, B. Analysis of high intensity activity in Premier League soccer. **International Journal of Sports Medicine**, v. 30, n. 3, p. 205–12, 2009.

SANTOS, S. G. **Métodos e técnicas de pesquisa quantitativa aplicada à Educação Física**. 1ª ed. Florianópolis: Editora Tribo da Ilha, 2011.

SEGER, J. Y.; THORSTENSSON, A. Muscle strength and electromyogram in boys and girls followed through puberty. **European Journal of Applied Physiology**, v. 81, n. 1-2, p. 54–61, 2000.

VAN DER SLUIS, A.; ELFERINK-GEMSER, M. T.; COELHO-E-SILVA, M. J.; et al. Sport Injuries Aligned to Peak Height Velocity in Talented Pubertal Soccer Players. **International Journal of Sports Medicine**, v. 35, n. 4, p. 351–355, 2014.

SMITS-ENGELSMAN, B. C. M.; WESTENBERG, Y.; DUYSSENS, J. Development of isometric force and force control in children. **Cognitive Brain Research**, v. 17, n. 1, p. 68–74, 2003.

DE STE CROIX, M. Advances in paediatric strength assessment : changing our perspective on strength development. **Journal of Sports Science & Medicine**, v. 6, n. September, p. 292–304, 2007.

DE STEX CROIX, M. B. A.; ARMSTRONG, N.; WELSMAN, J. R.; SHARPE, P. Longitudinal changes in isokinetic leg strength in 10-14-year-olds. **Annals of Human Biology**, v. 29, n. 1, p. 50–62, 2002.

DE STEX CROIX, M. B. A. Isokinetic assessment and interpretation in paediatric populations : Why do we know relatively little ? **Isokinetic and Exercise Science**, v. 20, n. 4, p. 275–291, 2012.

DE STEX CROIX, M.; DEIGHAN, M.; ARMSTRONG, N. Assessment and interpretation of isokinetic muscle strength during growth and maturation. **Sports Medicine**, v. 33, n. 10, p. 727–43, 2003.

STØLEN, T.; CHAMARI, K.; CASTAGNA, C.; WISLØFF, U. Physiology of Soccer. **Sports Medicine**, v. 35, n. 6, p. 501–536, 2005.

STRECKIS, V.; SKURVYDAS, A.; RATKEVICIUS, A. Children are more susceptible to central fatigue than adults. **Muscle & Nerve**, v. 36, n. 3, p. 357–63, 2007.

STRØYER, J.; HANSEN, L.; KLAUSEN, K. Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 36, n. 1, p. 168–74, 2004.

THOMAS, J. R.; NELSON, J. K. **Métodos de pesquisa em atividade física**. 6<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2012.

THORLUND, J. B.; AAGAARD, P.; MADSEN, K. Rapid muscle force capacity changes after soccer match play. **International Journal of Sports Medicine**, v. 30, n. 4, p. 273–8, 2009.

THORLUND, J. B.; MICHALSIK, L. B.; MADSEN, K.; AAGAARD, P. Acute fatigue-induced changes in muscle mechanical properties and neuromuscular activity in elite handball players following a handball match. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 18, n. 4, p. 462–72, 2008.

TONSON, A.; RATEL, S.; LE FUR, Y.; COZZONE, P.; BENDAHAN, D. Effect of maturation on the relationship between muscle size and force production. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 40, n. 5, p. 918–25, 2008.

TSIROS, M. D.; COATES, A. M.; HOWE, P. R. C.; et al. Knee extensor strength differences in obese and healthy-weight 10-to 13-year-olds. **European Journal of Applied Physiology**, v. 113, n. 6, p. 1415–22, 2013.

VAEYENS, R.; LENOIR, M.; WILLIAMS, A. M.; PHILIPPAERTS, R. M. Talent identification and development programmes in sport. **Sports Medicine**, v. 38, n. 9, p. 703–714, 2008.

VAEYENS, R.; MALINA, R. M.; JANSSENS, M.; et al. A multidisciplinary selection model for youth soccer: the Ghent Youth Soccer Project. **British Journal of Sports Medicine**, v. 40, n. 11, p. 928–34; discussion 934, 2006.

VALENTE-DOS-SANTOS, J.; COELHO-E-SILVA, M. J.; DUARTE, J.; et al. Longitudinal predictors of aerobic performance in adolescent soccer players. **Medicina (Kaunas)**, v. 48, n. 8, p. 410–6, 2012.

VANDENDRIESSCHE, J. B.; VAEYENS, R.; VANDORPE, B.; et al. Biological maturation, morphology, fitness, and motor coordination as part of a selection strategy in the search for international youth soccer players (age 15-16 years). **Journal of Sports Sciences**, v. 30, n. 15, p. 1695–703, 2012.

VESCOVI, J. D. Sprint profile of professional female soccer players during competitive matches: Female Athletes in Motion (FAiM) study. **Journal of Sports Sciences**, v. 30, n. 12, p. 1259–65, 2012.

WAUGH, C. M.; KORFF, T.; FATH, F.; BLAZEVIK, A. J. Rapid force production in children and adults: mechanical and neural contributions. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 45, n. 4, p. 762–71, 2013.

WEIR, J. P.; HOUSH, T. J.; JOHNSON, G. O.; HOUSH, D. J.; EBERSOLE, K. T. Allometric scaling of isokinetic peak torque: the Nebraska Wrestling Study. **European Journal of Applied Physiology**, v. 80, n. 3, p. 240–8, 1999.

WISLØFF, U.; CASTAGNA, C.; HELGERUD, J.; JONES, R.; HOFF, J. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. **British Journal of Sports Medicine**, v. 38, n. 3, p. 285–288, 2004.

WOODS, C.; HAWKINS, R. D.; MALTBY, S.; et al. The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football--analysis of hamstring injuries. **British Journal of Sports Medicine**, v. 38, n. 1, p. 36–41, 2004.

## ANEXOS

### ANEXO A – Parecer consubstanciado do comitê de ética em pesquisa

UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
SANTA CATARINA - UFSC



#### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

##### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** FORÇA MÁXIMA E EXPLOSIVA EM ADOLESCENTES JOGADORES DE FUTEBOL

**Pesquisador:** Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 32908614.9.0000.0121

**Instituição Proponente:** Universidade Federal de Santa Catarina

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

##### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 746.540

**Data da Relatoria:** 11/08/2014

##### Apresentação do Projeto:

Projeto de pesquisa do Programa de Pós-graduação em Educação Física da UFSC que pretende estudar 50 jovens jogadores de futebol, entre 12 e 15 anos, do sexo masculino, pertencentes à categoria sub-13 e sub-15 de dois clubes profissionais da cidade de Florianópolis. Os participantes serão submetidos a avaliações físicas, de maturação esquelética e sexual.

##### Objetivo da Pesquisa:

**Principal:** Analisar a influência da maturação esquelética sobre os parâmetros de força máxima, força explosiva e ativação muscular de jovens jogadores de futebol após controlar o efeito do tamanho corporal por meio da abordagem de escalonamento alométrico.  
**Secundários:** Determinar e comparar o pico de torque e a taxa de desenvolvimento de força dos flexores e extensores de joelho durante a CVM isométrica entre

**Endereço:** Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima

**Bairro:** Trindade **CEP:** 88.040-900

**UF:** SC **Município:** FLORIANOPOLIS

**Telefone:** (48)3721-9206 **Fax:** (48)3721-9696 **E-mail:** cep@reitoria.ufsc.br

Continuação do Parecer: 746.540

os grupos maturacionais após controlar o efeito do tamanho corporal por meio do método de escalonamento; Determinar e comparar a ativação muscular e o atraso eletromecânico dos músculos vasto lateral e bíceps femoral durante a CVM isométrica entre os grupos maturacionais; Determinar e comparar a ativação muscular dos músculos vasto lateral e bíceps femoral durante as ações musculares concêntricas e excêntricas entre os grupos maturacionais; Determinar e comparar o valor de 1RM entre os grupos maturacionais após controlar o efeito do tamanho corporal por meio do método de escalonamento; Determinar e comparar os valores do pico de torque dos músculos flexores e extensores de joelho durante ações musculares concêntricas e excêntricas em duas velocidades angulares ( $60^\circ/s-1$ ,  $120^\circ/s-1$  e  $180^\circ/s-1$ ) entre os grupos maturacionais após controlar o efeito do tamanho corporal por meio do método de escalonamento

**Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

Riscos:

a) seu filho/dependente será exposto a uma radiação mínima durante a realização do raio-x de punho e mão, b) poderá haver algum constrangimento em ficar despido diante da médica pediatra durante a avaliação da maturidade sexual, e c) seu filho/dependente será submetido a realização de esforços máximos durante as avaliações físicas, as quais são similares àquelas realizadas durante as sessões diárias de treinamento. Ao final de cada teste físico, seu filho/dependente poderá apresentar moderado a elevado cansaço físico decorrente do esforço realizado. Contudo, estejam cientes que os riscos, desconfortos ou constrangimentos relacionados a esta pesquisa são mínimos.

Benefícios: as informações coletadas no presente estudo poderão servir como referência para os treinadores avaliar a condição física individual de cada atleta e, posteriormente realizar a prescrição do treinamento; além dessas vantagens, os jogadores serão informados sobre sua composição corporal, estado maturacional e parâmetros de desempenho anaeróbio, aeróbio e níveis de força muscular

**Endereço:** Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima  
**Bairro:** Trindade **CEP:** 88.040-900  
**UF:** SC **Município:** FLORIANOPOLIS  
**Telefone:** (48)3721-9206 **Fax:** (48)3721-9696 **E-mail:** cep@reitoria.ufsc.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
SANTA CATARINA - UFSC



Continuação do Parecer: 746.540

durante

ações musculares isométricas e dinâmicas, a partir do repasse do relatório individual.

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

A médica responsável pela avaliação da maturidade sexual será a pediatra Monica Chang Wayhs.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

Foram apresentados:

- TCLE e Termo de assentimento, de acordo com a resolução 466/2012;
- autorização do Avaí Futebol Clube, assinada pelo coordenador de categorias de base, Diogo Fernando Otacilio;
- autorização do HU, assinada pela diretora geral em exercício, Profa. Maria de Lourdes Rovaris.

**Recomendações:**

-

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Pela aprovação.

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

**Considerações Finais a critério do CEP:**

FLORIANOPOLIS, 11 de Agosto de 2014

---

**Assinado por:**  
**Washington Portela de Souza**  
**(Coordenador)**

**Endereço:** Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima  
**Bairro:** Trindade **CEP:** 88.040-900  
**UF:** SC **Município:** FLORIANOPOLIS  
**Telefone:** (48)3721-9206 **Fax:** (48)3721-9696 **E-mail:** cep@reitoria.ufsc.br