

Jéssica da Silva Soares

**ANÁLISE DISCRETA E FUNCIONAL DA ASSIMETRIA BILATERAL DE
PRODUÇÃO DE TORQUE DE CICLISTAS AMADORES EM DIFERENTES
INTENSIDADES E MOMENTOS DE EXERCÍCIO**

Belo Horizonte
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional/UFMG

2020

Jéssica da Silva Soares

**ANÁLISE DISCRETA E FUNCIONAL DA ASSIMETRIA BILATERAL DE
PRODUÇÃO DE TORQUE DE CICLISTAS AMADORES EM DIFERENTES
INTENSIDADES E MOMENTOS DE EXERCÍCIO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Ciências do Esporte da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências do Esporte.

Orientador: André Gustavo Pereira de Andrade
Co-orientador: Felipe Pivetta Carpes

Belo Horizonte
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional/UFMG

2020

S676a Soares, Jéssica da Silva

2020 Análise discreta e funcional da assimetria bilateral de produção de torque de ciclistas amadores em diferentes intensidades e momentos de exercício. [manuscrito] / Jéssica da Silva Soares – 2020.

56 f., enc.: il.

Orientador: André Gustavo Pereira de Andrade

Coorientador: Felipe Pivetta Carpes

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

Bibliografia: f. 44-47

1. Ciclismo – Teses. 2. Ciclistas – Teses. 3. Exercícios físicos – Teses. 4. Torque – Teses. I. Andrade, André Gustavo Pereira de Andrade. II. Carpes, Felipe Pivetta. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. IV. Título.

CDU: 796.015.52

Ficha catalográfica elaborada pelo bibliotecário Danlo Francisco de Souza Lage, CRB 6: nº 3132, da

Biblioteca da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG.



A Dissertação intitulada "**Análise discreta e funcional da assimetria bilateral de produção de torque de ciclistas amadores em diferentes intensidades e momentos de exercício.**", de autoria da mestranda **Jéssica da Silva Soares**, defendida em 21 de fevereiro de 2020, na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, foi submetida à banca examinadora composta pelos professores:

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

Prof. Dr. Mauro Heleno Chagas
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. Fernando Diefenthaler
Universidade Federal de Santa Catarina

*Como o Prof. Dr. Fernando Diefenthaler participou da Banca à distância, o Prof. Dr. André Gustavo Pereira de Andrade, presidente da comissão, assinará a ata em nome do mesmo e terá validade de 60 dias. Procedimento aprovado pelo colegiado de Pós-Graduação em Ciências do Esporte.

Belo Horizonte, 21 de fevereiro de 2020.

AGRADECIMENTOS

A construção desse trabalho aconteceu ao longo dos últimos anos e tantas pessoas contribuíram para elaboração deste e também para o meu crescimento pessoal que só tenho a agradecer por ter a sorte de estar rodeada por tantas pessoas especiais.

Aos meus pais, que durante toda minha vida proporcionaram o melhor que eu poderia esperar em termos de oportunidades e amor e por terem me apoiado em cada passo que dei ao longo da vida.

Ao meu irmão, Ricardo, que sempre foi um exemplo e uma inspiração e também por ter estado sempre ao meu lado. A Lílian por ter me dado um conselho que me levou ao BIOLAB e a meus sobrinhos que enchem minha vida de alegria.

A todos os professores que tive, cada um deles me mostrou que essa trajetória era possível.

Às minhas amigas que me acompanham desde o ensino médio, com certeza eu aprendi muito com cada uma delas e continuo aprendendo sobre a importância da amizade e como ela se transforma com o tempo. Mesmo com a distância e as rotinas loucas seguimos sendo apoio e porto seguro uma das outras.

Aos amigos que a Educação Física me trouxe, cada um foi importante para minha formação profissional e pessoal. Agradecimento especial à Lise, Diego, Lu e Ana por terem acompanhado ao longo da graduação e por terem me incentivado a trilhar esse caminho.

Aos amigos que o Biolab me proporcionou, a Sara por ter me mostrado tantas coisas que me fizeram melhor, a Sarah por ter sido meu primeiro exemplo na pós-graduação, ao Gustavo por ter me ensinado a ser mais cuidadosa durante coletas, a Fabs por ter me orientado em tantas questões e por toda paciência que sempre demonstrou comigo, Giovanna que apesar de não ser oficialmente do Biolab sempre esteve conosco fazendo nossos dias melhores e a Gis que esteve presente em cada momento desse mestrado, compartilhando experiências, conhecimento, viagens, incertezas e risadas. Cada Biolabiano fez meus dias mais divertidos e proveitosos.

Aos amigos do GNAP que me receberam e me acolheram sem mesmo me conhecer, sou muito grata à Gislaine que abriu sua casa durante 40 dias e me tratou como alguém de sua família, ao Marcos por ter me acompanhado e ter me dado dicas e conselhos acerca da viagem e da minha estadia em Uruguaiana e por ter me ajudado em todas as questões técnicas do laboratório, ao Álvaro, Jean e Matheus por me ajudarem nas coletas, a Karine, Helen e Andressa por terem sempre me auxiliado e por também me apresentarem o GNAP e Uruguaiana.

À CAPES pelo apoio financeiro.

Ao professor Mauro por ter me aproximado da docência durante a graduação e também por ter contribuído bastante para minha formação e para execução desse trabalho. Ao professor Fernando Diefenthaeler por ter aceitado ser parecerista externo deste trabalho e por suas inúmeras considerações que nos ajudaram a tornar esse trabalho melhor.

Ao professor Gustavo por também ter contribuído para aperfeiçoamento desse trabalho e a todos os colegas que leram e de alguma forma ajudaram no meu entendimento e na elaboração dessa dissertação.

Aos professores André e Felipe por terem aceitado orientar esse trabalho, e que fizeram tudo possível para que essa parceria entre UFMG e UNIPAMPA desse certo. Ao professor André, também agradeço por ter me conduzido ao longo de toda essa trajetória que se iniciou em 2017 e por ter me mostrado e me lembrado inúmeras vezes o quanto a Biomecânica é importante. Aprendi sobre diferentes coisas nesses últimos anos, mas acompanhando o professor André em suas aulas e também como orientanda aprendi sobre o papel de um bom professor e o quanto isso pode influenciar na formação das pessoas.

Enfim, gostaria de agradecer a todos que de alguma forma contribuíram para minha formação!

*“O real não está no início nem no fim,
ele se mostra pra gente é no meio da travessia...”*

Guimarães Rosa

RESUMO

No ciclismo, a aplicação de torque nos pedais, o posicionamento do ciclista na bicicleta e o pico de potência parecem afetar diretamente o desempenho. Ciclistas utilizam diferentes estratégias para manutenção do desempenho durante provas/treinos, como a diminuição da cadência de pedalada, modificação da ativação muscular e a assimetria de produção de torque. É importante também considerar que ciclistas são submetidos a intensidades submáximas por períodos longos e durante esses momentos, maiores níveis de assimetria de torque são esperados. Além disso, o processo de fadiga que acontece durante o exercício pode causar mudanças na assimetria. Portanto, o objetivo do presente estudo foi verificar o efeito de diferentes intensidades e momentos de exercício sobre o comportamento da assimetria através de duas análises, uma discreta a partir do pico de torque e uma funcional, considerando todo o ciclo de pedalada. A amostra desse estudo foi composta por ciclistas amadores que foram submetidos a um teste para determinar a potência máxima de pedalada e a três testes com potência (60, 80 e 95% POT_{MÁX}) e cadência fixas até a exaustão. Para verificar o comportamento da assimetria entre as intensidades por meio da análise discreta foi utilizada uma ANOVA two-way de medidas repetidas, sendo os fatores analisados, intensidades e membros. Para verificar o comportamento da assimetria entre diferentes momentos de exercício foi também realizada uma ANOVA two-way com os fatores momentos (início e fim) e membros. Para determinar as assimetrias nas séries temporais, foi aplicada uma análise de variância funcional two-way (FANOVA) para medidas repetidas, considerando os mesmos fatores incluídos nas abordagens ANOVA. A análise discreta demonstrou não haver diferenças entre os membros independente da intensidade analisada. Porém, a análise funcional demonstrou algumas diferenças entre os membros dentro do ciclo entre os membros direito e esquerdo, informações essas que a análise discreta desconsidera já que só utiliza a variável pico de torque. Em relação ao momento de exercício, não houve diferenças significativas entre os membros independentemente do método de análise utilizado ou a intensidade. Os resultados do presente estudo confirmaram que a FANOVA seria mais sensível na detecção da assimetria no perfil de produção de torque em ciclistas amadores comparado a ANOVA. Contudo, as hipóteses de que o aumento da intensidade e o momento do exercício influenciaram no comportamento da assimetria não foram confirmadas, sendo que a característica do protocolo de intervenção pode ter influenciado nos resultados.

Palavras-chave: Ciclismo. Assimetria bilateral. Produção de torque. Análise discreta. Análise funcional.

ABSTRACT

In cycling, applying torque to the pedals, positioning the rider on the bike, and peak power appear to directly affect performance. Cyclists use different strategies to maintain performance, such as decreased pedaling cadence, modification of muscle activation and torque production asymmetry. It is also important to consider that cyclists are subjected to submaximal intensities for long periods and during these lower intensities higher levels of torque production asymmetry are expected. In addition, the fatigue process that occurs during exercise can cause changes in the level of bilateral asymmetry. Therefore, the objective of the present study was to verify the effect of different workloads and moments (beginning and end) of exercise on the asymmetry behavior through two analyzes, a discrete analysis from the peak torque and a functional analysis, considering all pedaling cycle. The sample of this study consisted of amateur cyclists who underwent a test to determine the maximum pedaling power and three tests with power (60, 80 and 95% $power_{MAX}$) and fixed cadence until exhaustion with 48h interval between each session. To verify the behavior of bilateral asymmetry between workloads through peak torque, a two-way repeated measures ANOVA was used, and the analyzed factors were workloads (60, 80 and 95% $power_{MAX}$) limbs (right and left). To verify the behavior of bilateral asymmetry between different exercise moments, a two-way ANOVA was also performed with the factors moments (beginning and end) and limbs (right and left). To determine asymmetries in time series, a two-way functional variance analysis (FANOVA) for repeated measures was applied, considering the same factors included in the ANOVA approaches. In all analyzes, a significance level of 5% was adopted. The discrete analysis showed no differences between the members regardless of the exercise intensity analyzed, however, the functional analysis showed some differences between the members within the cycle between the right and left members, information that the discrete analysis disregards since it only uses the peak torque variable. Regarding the timing of the exercise, there were no significant differences between the members regardless of the method of analysis used or the exercise intensity. The results of the present study confirmed the hypothesis that FANOVA would be more sensitive in detecting asymmetry in the torque production profile in amateur cyclists compared to ANOVA. However, the hypotheses that the increase in intensity and the moment of exercise influenced the asymmetry behavior were not confirmed.

Keywords: Cycling. Bilateral asymmetry. Torque production. Discreet analysis. Functional analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Cicloergômetro *Lode Excalibur*
- Figura 2 - Delineamento experimental
- Figura 3 - Transformação de série temporal em dado funcional
- Figura 4 - Bases de *Fourrier*
- Figura 5 - Exemplo de reconstrução de um sinal
- Figura 6 - Exemplo de sinais antes e após o procedimento registro
- Figura 7 - Média do pico de torque de ambos os membros nas diferentes intensidades
- Figura 8 - FANOVA comparando curvas de torque entre as três intensidades
- Figura 9 - FANOVA comparando curvas de torque entre os membros direito e esquerdo
- Figura 10 - Média de pico torque dos membros nos momentos iniciais e finais
- Figura 11 - Média de produção do pico de torque dos membros direito e esquerdo
- Figura 12 - FANOVA comparando curvas de torque entre os membros e momentos

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Resultados de pico de torque dos membros direito e esquerdo nas diferentes intensidades e momentos.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Assimetria bilateral
CC	Ciclistas competitivos
CR	Ciclistas recreacionais
PT	Pico de torque
FDA	<i>Functional Data Analysis</i>
SPSS	<i>Statistical Package of the Social Sciences</i>
TCLE	Termo de consentimento livre e esclarecido
MIN	Minutos
S	Segundos
MMII	Membros inferiores
EMG	Eletromiografia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Objetivos e hipóteses	19
2. MATERIAIS E MÉTODOS	20
2.1 Cuidados Éticos	20
2.2 Amostra	20
2.3 Instrumentos	21
2.4.1 Teste progressivo	23
2.4.2 Teste de tempo limite	24
2.5 Análise de dados funcionais	24
2.6 Análise estatística:	29
3. RESULTADOS	31
4. DISCUSSÃO	37
4.1. Intensidade e AB	37
4.2. AB e fadiga	40
5. Conclusão	42
REFERÊNCIAS	43
APÊNDICE	46
ANEXO	48
ANEXO 2	51

1. INTRODUÇÃO

O desempenho no ciclismo pode ser afetado pela interação de diversos fatores mecânicos, fisiológicos e ambientais (CANDOTTI, 2003). Do ponto de vista biomecânico, o posicionamento do ciclista na bicicleta, o pico de potência e a aplicação de torque nos pedais parecem afetar diretamente o desempenho dessa modalidade (FARIA *et al.*, 2005). Segundo Carpes (2004), a produção de torque no pedivela se mostra também uma variável relevante da técnica de pedalada, uma vez que permite entender em qual momento da fase de pedalada a força está sendo aplicada. Além disso, estudos têm demonstrado que a aplicação de torque no pedivela não costuma acontecer de maneira simétrica entre os membros (CARPES *et al.*, 2007; BINI e HUME, 2015) e, portanto determinados níveis de assimetria bilateral podem ser esperados. A assimetria bilateral (AB) é definida como a diferença em parâmetros cinéticos e cinemáticos entre os membros inferiores ou superiores durante a realização de uma determinada tarefa (HODGES *et al.*, 2011). De acordo com Smak, Neptune e Hull (1999) além da identificação de padrões de produção de torque, a análise da AB no ciclismo é importante para identificação do membro mais fraco para posterior prescrição de treinamento para minimizar essas assimetrias, pois especula-se que maiores níveis de AB possam causar maior sobrecarga do membro que contribui mais para a produção de torque, conduzindo este membro para um processo de fadiga de maneira prematura (CARPES *et al.*, 2007). Essa condição irá demandar do membro menos forte uma maior participação de maneira precoce e que também irá se fadigar antecipadamente, portanto influenciando no desempenho do atleta.

No que se refere a AB na pedalada uma questão que parece ser importante é a intensidade de exercício que o ciclista é submetido. Durante treinamentos e competições de longa duração, ciclistas são expostos por grandes períodos a potências médias relativamente baixas e a curtos intervalos de tempo a potências altas (EBERT *et al.*, 2006). Esses períodos de alta intensidade caracterizam-se por momentos específicos onde ações táticas são realizadas, como tentativas de ganhar distância sobre os oponentes e disputar a liderança na chegada das provas. Porém, apesar de momentos de alta intensidade serem muito importantes em pontos decisivos das provas, em boa parte dos treinos e provas de ciclismo os atletas pedalam em intensidades moderadas (ROSSATO *et al.*, 2008) e

segundo Carpes *et al.* (2007) são em intensidades submáximas que os indivíduos apresentam maiores níveis de AB. Portanto, os ciclistas pedalam em boa parte do tempo em intensidades que favorecem o aparecimento da AB. Além disso, considerando que o ciclismo é um esporte cíclico com padrões altamente repetitivos, manifestações de assimetrias bilaterais (AB) em parâmetros biomecânicos podem além de impactar o desempenho gerar uma sobrecarga articular e muscular no membro mais forte levando a lesões por esforço repetitivo, e esse tipo de lesão é causa de boa parte dos desconfortos no ciclismo (QUESADA *et al.*, 2019). Diferentes estudos tentaram verificar se os níveis de AB sofrem influência da intensidade de pedalada, esses estudos utilizaram testes contrarrelógio (CARPES *et al.*, 2007), testes com intensidades fixas (GARCÍA-LOPEZ, 2015; DIEFENTHAELER, BINI e VAZ, 2012; SMAK, NEPTUNE, HULL, 1999) e testes incrementais (CARPES *et al.*, 2011; BINI *et al.*, 2007). Porém, ainda há controvérsias quanto a relação da AB e a intensidade de exercício. Essa falta de concordância parece acontecer principalmente devido a diferenças metodológicas desses estudos (GARCÍA-LOPEZ *et al.*, 2015), já que nos estudos acerca dessa temática além de diferentes protocolos de exercício, foram utilizados também distintos instrumentos e variáveis (torque, impulso angular, força efetiva, força normal, força tangencial e força resultante) para verificar a AB.

Pensando em protocolos de exercício utilizados na literatura para avaliação da AB, fatores como cadência e intensidade do exercício parecem influenciar no comportamento da AB de produção de torque (CARPES, MOTA e FARIA, 2010). Diante disso, apesar de não ser muito específico no contexto do esporte, o teste de potência fixa até a exaustão parece ser interessante para avaliação da AB devido a possibilidade de se manter a mesma intensidade durante todo o teste, além disso, se pode fixar a cadência que será mantida durante o protocolo, o que permite o controle de mais um fator que pode influenciar na AB. García-Lopez *et al.*, (2015) utilizaram testes de potência fixa correspondentes às percepções subjetivas baixa, média e alta para avaliação da AB. Com base nesse estudo, iremos utilizar também três intensidades, 60, 80 e 95% da potência máxima em um teste com potência e cadência fixa, também tentando manter essa expectativa de utilizar uma intensidade mais próxima da mínima utilizada em treinos, uma intensidade média, mais próxima da realidade de provas e uma intensidade alta

que se aproxime das demandas de alguns momentos específicos de provas. Com base na literatura, esperamos que os níveis de AB sejam maiores nas menores intensidades de exercício quando comparadas a intensidades maiores (CARPES *et al.*, 2007).

De acordo com os estudos revisados, diferenças em aspectos metodológicos podem ter contribuído para as diferenças em relação ao efeito de diferentes intensidades, sobre a AB. A maioria dos estudos que investigaram a AB utiliza variáveis discretas, ou seja, para a análise levam em consideração apenas um ponto de todo o ciclo de pedalada (curva torque-ângulo), normalmente esse ponto utilizado é o pico de torque produzido durante a fase de propulsão (0° a 180°) de cada membro. Esse tipo de análise da AB por meio de um único ponto negligencia as informações temporais contidas em todo o ciclo e, portanto, possíveis assimetrias presentes em outros momentos do ciclo de pedalada podem ser desconsideradas por essa análise discreta. Diante disso, parece ser interessante considerar a análise de toda a série temporal da produção de torque como um aspecto metodológico importante. Neste sentido, a *Functional Data Analysis* (FDA) poderia fornecer novas informações sobre o comportamento da AB no ciclo da pedalada (RAMSAY, HOOKER, & GRAVES, 2009). Para executar a FDA, toda a curva de torque é escrita em função de um conjunto de polinômios ortogonais, chamados de funções de base (e.g. Séries de Fourier), que passam a representar a série temporal da variável de interesse (ANDRADE *et al.*, 2014). Além disso, métodos estatísticos, como análise de variância funcional (FANOVA), que será utilizada no presente estudo, foram adaptados e estendidos à abordagem da FDA (RAMSAY, HOOKER, & GRAVES, 2009; ANDRADE *et al.*, 2014). Dessa forma, a possibilidade de utilizar a FDA pode representar um avanço no entendimento do comportamento da AB em diferentes intensidades da pedalada e esclarecer algumas controvérsias existentes na literatura.

Outro aspecto que necessita ser investigado é a relação entre a AB e fadiga (CARPES *et al.*, 2007). Durante um exercício exaustivo, a capacidade de produção de força declina progressivamente, o que sugere que a fadiga começa antes dos músculos não serem mais capazes de sustentar a tarefa (DOREL *et al.*, 2009). É possível que a AB possa desencadear esse processo de fadiga de forma prematura devido a uma maior produção de torque por um dos membros inferiores

em tarefas com um tempo prolongado (CARPES *et al.*, 2007). Em um teste contrarrelógio de 40 km, Carpes *et al.* (2005) observaram que a magnitude das forças normal e tangencial ao pedal apresentaram redução no decorrer do teste, enquanto que a força efetiva aumentou durante a fase de recuperação (180° a 360°). Esses mesmos autores afirmam que é provável que o processo de fadiga tenha levado os indivíduos a modificar direcionamento das forças ao longo do teste, influenciando dessa forma a técnica de pedalada na tentativa de manter ou aumentar a produção de torque durante o exercício. Além disso, Pouliquen *et al.* (2016) observaram mudanças na produção de torque e na ativação muscular entre os membros inferiores durante o início e o fim de um teste com intensidade fixa a 100% da potência máxima aeróbia.

Um aumento da produção de torque nos trechos finais de testes contrarrelógio foi observado por Carpes *et al.* (2005) e também por Carpes *et al.* (2007). Esse resultado reforça que os ciclistas utilizam de diferentes estratégias para manutenção ou melhora do desempenho durante a pedalada. Em um estudo com potência fixa até a fadiga Diefenthaler *et al.* (2012) perceberam que nos momentos finais do teste os indivíduos tendiam a aumentar a produção de força aplicada nos pedais, mas ao mesmo tempo diminuía a cadência de pedalada de modo a conseguirem sustentar a potência proposta. O aumento da produção de força observado no final do teste também pode estar relacionado a capacidade dos ciclistas em conseguir aproveitar melhor a fase de recuperação da pedalada (180° a 360°), uma vez que em menores cadências de pedalada os ciclistas são capazes de também "puxar" o pedal (CANDOTTI *et al.*, 2007; ROSSATO *et al.*, 2008). Isso indica mais uma vez que estratégias para manutenção do desempenho em condições de fadiga são utilizadas no ciclismo.

Ainda pensando nessas possíveis estratégias para manutenção do desempenho, Dorel *et al.* (2009) submetem ciclistas a um teste com intensidade correspondente a 80% da potência máxima tolerada e cadência fixa até a exaustão. Os componentes de força no pedal foram medidos utilizando pedais instrumentados e estes foram sincronizados com sinais de eletromiografia (EMG) de superfície medidos em 10 músculos dos membros inferiores. A magnitude do valor da raiz quadrada média (*root mean square* - RMS) da EMG do músculo tibial anterior e gastrocnêmio medial diminuiu significativamente, enquanto aumentou para os

músculos glúteo máximo e bíceps femoral a partir de 75% do tempo total de teste. Esses aumentos na atividade do glúteo máximo e do bíceps femoral podem ser considerados estratégias de coordenação que compensam a possível fadiga e a diminuição de torque dos músculos extensores do joelho. Porém, esses autores avaliaram a produção de torque e ativação muscular de apenas um dos membros inferiores, desconsiderando que pode não ocorrer um comportamento similar nos dois membros inferiores durante as tarefas de ciclismo (CARPES *et al.*, 2007; BINI e HUME, 2015).

Como relatado anteriormente, durante exercício prolongado com o processo de fadiga, o indivíduo pode diminuir o seu desempenho ou adotar uma estratégia para manutenção do mesmo. Porém, alguns estudos como o de García-López *et al.* (2015) investigaram o comportamento da AB em diferentes intensidades por um período relativamente curto de exercício, possivelmente não chegando a níveis de fadiga próximos do máximo suportado. Além disso, com o intuito de isolar o efeito da intensidade de exercício sobre a produção de torque, Diefenthaler *et al.* (2012) utilizaram um protocolo com potência fixa, dessa forma, os ciclistas poderiam utilizar estratégias para manutenção da potência proposta por meio da variação do torque aplicado e da cadência empregada, fatores que parecem interferir diretamente nos níveis de AB (CARPES, MOTA & FARIA, 2010). Sendo assim, fixar também a cadência de pedalada parece ser importante para verificar o efeito da intensidade sobre a AB. Portanto, conhecimento é possível perceber que ainda existe uma lacuna na literatura sobre o comportamento da AB em ciclistas durante tarefas com a máxima duração suportada em diferentes intensidades fixas.

Apesar desse raciocínio da fadiga acontecer de maneira prematura devido a AB causar queda no desempenho, poucos estudos investigaram essa temática no ciclismo. Bini *et al.* (2016) concluíram que o tempo total dos 20 km contrarrelógio não sofreu alterações independentemente do nível de assimetria dos indivíduos. Já no estudo realizado por Bini e Hume (2015) foi encontrado que indivíduos com maiores AB de força efetiva obtiveram tempo total significativamente menor que os indivíduos considerados simétricos, durante um teste de 4 km contrarrelógio. Portanto, os resultados encontrados na literatura ainda são controversos no que diz respeito ao comportamento da AB de produção de força durante o processo de fadiga. Dessa forma, comparar o início e o fim de um teste

com potência e cadência fixa até a exaustão, pode ajudar a entender melhor se há mudanças no comportamento da AB ao longo do processo de fadiga. A partir disso é possível que treinadores monitorem a AB ao longo de treinamentos que envolvam grandes volumes e caso necessário intervenham para otimização do desempenho. As análises FANOVA e ANOVA serão utilizadas também para verificar o efeito da fadiga sobre a AB com intuito de identificar se uma análise funcional agrega informações importantes acerca da técnica de pedalada quando comparada com a análise discreta. A nossa expectativa é que, tanto na comparação das intensidades entre membros quanto na comparação da fadiga entre membros, que a FANOVA seja mais sensível na detecção de assimetria em comparação com a ANOVA por levar em consideração a produção de torque em todo o ciclo da pedalada. Além disso, espera-se que intensidades mais baixas irão provocar maior assimetria em comparação às maiores intensidades e que os indivíduos tenderão a ser mais simétricos nos momentos finais de exercício comparado aos momentos iniciais em todas as intensidades.

Em relação a diferentes níveis de treinamento no ciclismo e assimetria, um estudo que analisou a assimetria cinemática entre ciclistas e não-ciclistas demonstrou que os não-ciclistas tendem a ser mais assimétricos durante a pedalada (EDELIN *et al.*, 2004), porém, García-López *et al.* (2015) demonstraram não haver diferenças no padrão de assimetria em ciclistas profissionais com diferentes níveis de treinamento. Entretanto, vale ressaltar que esse último estudo investigou quatro grupos de ciclistas com níveis de experiência e treinamento elevados e considerando que na corrida os atletas com maiores níveis de experiência e treinamento são mais simétricos, é possível que o mesmo ocorra no ciclismo, explicando a ausência de diferenças nos níveis de assimetria nos grupos analisados. Por outro lado, ainda existe uma lacuna no conhecimento quanto ao comportamento da assimetria de produção de torque em ciclistas com menores níveis de treinamento, e considerando que a grande maioria dos ciclistas se enquadra como atletas amadores poderia ser interessante verificar o comportamento da assimetria desses indivíduos. Portanto, no presente estudo serão investigados ciclistas amadores de estrada que se enquadram na classificação de ciclistas amadores competitivos e recreacionais apresentada por Quesada *et al.* (2018).

1.1. Objetivos

Objetivo 1 - Verificar o efeito de três diferentes intensidades de exercício sobre a assimetria bilateral de produção de torque, por meio da análise de variância funcional (FANOVA) em comparação com a análise estatística tradicional de variância (ANOVA).

Objetivo 2 - Verificar se o momento de execução do exercício (início vs fim) afeta o comportamento da assimetria bilateral por meio da análise de variância funcional (FANOVA) em comparação com a análise de variância (ANOVA).

1.2. Hipóteses

Hipótese 1 - Intensidades mais baixas irão provocar maior assimetria em comparação à maiores intensidades e a FANOVA será mais sensível na detecção de assimetria em comparação com a ANOVA.

Hipótese 2 - Os indivíduos tenderão a ser mais simétricos nos momentos finais de exercício comparado aos momentos iniciais em todas as intensidades e a FANOVA será mais sensível na detecção de assimetria em comparação com a ANOVA.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Cuidados Éticos

Esse estudo respeitou todas as normas estabelecidas pelo Conselho Nacional de Saúde (Resolução 466/12) envolvendo pesquisas com seres humanos e foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG (CAAE: 84968018.1.0000.5149) (ANEXO 1).

Inicialmente foi realizada uma reunião com cada voluntário na qual foram fornecidas informações sobre os objetivos e procedimentos adotados durante a pesquisa. Todos os voluntários leram e assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (APÊNDICE 1), relatando estarem cientes dos riscos relacionados à participação na pesquisa e que, a qualquer momento, poderiam deixar de participar do estudo.

2.2 Amostra

A amostra desse estudo foi composta por 20 ciclistas de estrada amadores de um grupo de ciclistas da cidade de Uruguaiana (RS), que apresentaram médias de volume semanal e velocidade média de treinos próximas as médias dos grupos de ciclistas amadores competitivos e recreacionais descritas por Quesada *et al.* (2018). Sendo 9 ciclistas amadores competitivos (CC) e 11 amadores recreacionais (CR). Todos os voluntários eram do sexo masculino com idade de 20 a 45 anos, possuíam tempo de prática na modalidade superior a 5 anos e se autodeclararam destros.

Os voluntários não deveriam apresentar histórico de patologias neurológicas e/ou ortopédicas em membros inferiores, acometimento recente ou crônico de lombalgia e lesões musculoesqueléticas nos últimos seis meses. Além disso, foram excluídos da amostra aqueles que não compareceram aos locais de coleta no dia e horário programados, sofreram alguma lesão musculoesquelética nos membros inferiores durante o período de coleta de dados ou interromperam/abandonaram qualquer teste.

2.3 Instrumentos

Para a mensuração das características antropométricas (massa corporal e estatura), foi utilizada uma balança (Filizola PL 200) com um estadiômetro acoplado (precisão de 0,1 kg e 0,05 m, respectivamente). Um frequencímetro (*Polar s810, Kempele, Finlândia*) foi utilizado para o monitoramento da frequência cardíaca durante o teste para determinação da potência máxima. Também foi utilizada a percepção subjetiva de esforço (PSE) (BORG, 1982) durante todos os testes realizados nesse estudo, essa escala vai de 6 a 20, sendo 6 “muito fácil” e 20 “exaustivo” e todos os indivíduos da amostra já estavam familiarizados com esse instrumento.

Para mensuração do torque durante a pedalada foi utilizado o cicloergômetro *Lode Excalibur Sport V2.0* (Groningen, Holanda) (FIGURA 1) equipado com o sistema *Lode Ergometry Manager (LEM)*, com comprimento de pedivela de 170 mm e com pedais de encaixe (clip). Este modelo permite ajustes na altura e na posição do selim e do guidão, o que possibilita reproduzir o posicionamento utilizado pelo ciclista em uma bicicleta de estrada. Durante o teste, os parâmetros de intensidade, rotações por minuto (rpm), tempo e torque foram acompanhados em tempo real. Além disso, esse equipamento permitiu a mensuração dos valores de torque aplicados a cada dois graus de rotação do pedivela (DOREL *et al.*, 2009).

Figura 1 – Cicloergômetro *Lode Excalibur Sport*



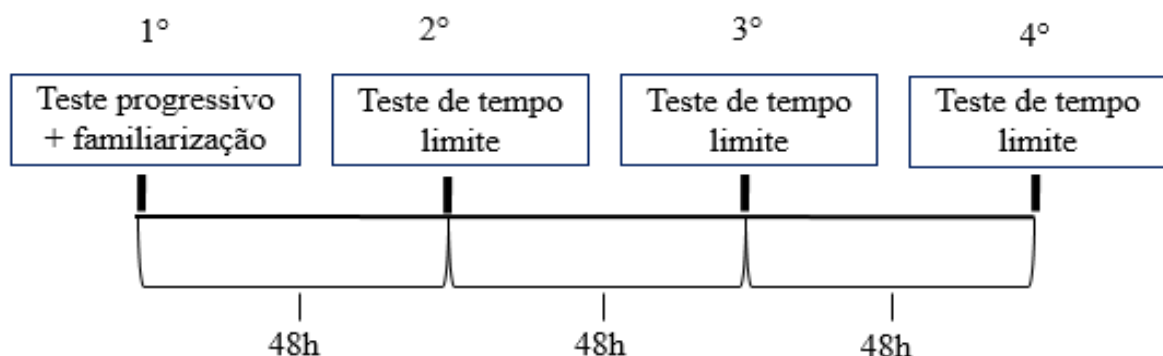
Fonte: <https://www.lode.nl/en/product/excalibur-sport/3>

Para posicionamento do ciclista foi utilizado um goniômetro. Resumidamente, marcadores reflexivos foram colocados no lado direito de cada sujeito para determinar as posições do quadril (trocâter maior), joelho (côndilo lateral da tíbia), tornozelo (maléolo lateral) e pé (cabeça do quinto metatarso). O ângulo formado entre a parte inferior do tronco (linha imaginária da posição do tronco) e o trocâter maior foi utilizada para definir a altura do guidão e a distância entre o guidão e o selim, assim como o ângulo formado pelo côndilo lateral e trocâter maior foi utilizado para determinar a altura do selim. O posicionamento foi ajustado de acordo com os ângulos de tornozelo, joelho e quadril propostos por Silberman *et al.* (2005). Todos os ciclistas utilizaram sapatilhas com tacos para acoplar aos pedais de encaixe.

2.4 Procedimentos experimentais

Todos os voluntários compareceram ao laboratório de Neuromecânica Aplicada (GNAP/UNIPAMPA) para a realização do experimento em quatro momentos distintos, com pelo menos 48h de intervalo entre eles e sempre no mesmo período do dia, para que os efeitos do ciclo circadiano fossem repetidos e não interferissem de maneira distinta no desempenho dos ciclistas (FIGURA 2).

Figura 2 – Representação esquemática dos procedimentos do do estudo



Fonte: Elaboração própria

No 1º momento, ao chegar ao laboratório os voluntários foram submetidos a uma anamnese contendo questões acerca de dados pessoais como: nome e data

de nascimento; e acerca de dados referentes à prática do ciclismo como: média de volume de treinamento pessoal, média de velocidade dos treinos, tempo de prática no ciclismo, dominância e número de provas realizadas no último ano. A partir das respostas desse questionário cada voluntário foi classificado como ciclista amador competitivo ou recreacional. Finalizada a anamnese, foram mensuradas as características antropométricas (massa e estatura).

Após a mensuração das características antropométricas, as posições de selim e guidão do ergômetro foram reguladas para garantir uma posição confortável e que permitisse um bom desempenho de pedalada.

Os indivíduos responderam o questionário de recuperação que vai de 0 a 10 (0 – “muito pouco recuperado” e 10 – “muito bem recuperado”) (LAURENT, 2013) para garantir que eles estavam recuperados e em condições de realizar o teste seguinte o mais próximo de seu desempenho máximo. Em seguida os indivíduos foram submetidos a um teste progressivo, e durante esse teste a potência máxima suportada foi determinada. Nas três sessões posteriores os indivíduos realizaram um teste de tempo limite com intensidades correspondentes a 60 e 80% e 95% da potência máxima, a ordem de realização das intensidades foi definida de forma balanceada.

2.4.1 Teste progressivo

A carga inicial foi de 100 W por 5 min e aumentou progressivamente em 25 W a cada minuto. Os ciclistas foram encorajados a manter a cadência de 90 rpm, e o final do teste ocorreu quando o indivíduo atingiu cadência inferior a 75 rpm (LUCÍA *et al.*, 2002). Todos os sujeitos receberam encorajamento verbal semelhante e um mesmo pesquisador foi responsável pelas coletas. Quando o estágio de 1 min não foi completado, a potência máxima foi definida como a potência do estágio anterior. Durante o início do aquecimento e a cada estágio atingido do teste foram coletados os dados de frequência cardíaca e percepção subjetiva de esforço (BORG, 1982).

2.4.2 Teste de tempo limite

Durante as três sessões seguintes, os indivíduos realizaram um aquecimento padronizado de dez minutos (2 min a 50 W, 2 min a 120 W, 2 min a 60 W, 2 min a 120 W e 2 min a 70 W). Imediatamente após os 10 min de aquecimento a carga foi aumentada de maneira progressiva até que fosse alcançada a carga correspondente a 60, 80% e 95% da potência máxima suportada, até que a potência determinada fosse atingida o tempo dessa progressão da carga foi inferior a 10 s. A partir desse momento, os indivíduos pedalarão o máximo de tempo possível sustentando essa intensidade. Para a potência de 60% foi colocado um limite de 60 min de exercício para evitar que outras variáveis como níveis glicêmicos interferissem no tempo suportado pelos indivíduos nessa intensidade. Os indivíduos foram instruídos a manterem uma cadência de 90 +/- 5 rpm (GARCÍA-LOPEZ *et al.*, 2015; ROSSATO *et al.*, 2008) e mantê-la durante todo o protocolo. A fadiga foi considerada como uma incapacidade de manutenção da cadência por 15 s ou interrupção do exercício. A hidratação foi permitida durante todos os testes e a temperatura foi mantida em 20 °C

Foi utilizado o ângulo do pedivela como referencial para a análise dos resultados de produção de torque ao longo dos 360° do ciclo de pedalada. Para melhor compreensão, o ciclo da pedalada foi dividido em duas fases, propulsão (0-180°) e recuperação (180°-360°). Para análise do efeito intensidade sobre a AB foram utilizados os 10 ciclos de pedalada iniciais, ou seja, os 10 primeiros picos após a estabilização da cadência em 90 rpm. Para análise do efeito da fadiga sobre a AB foram utilizados os 10 ciclos iniciais e também os 10 ciclos finais antes que a cadência atingisse valor inferior a 85 rpm.

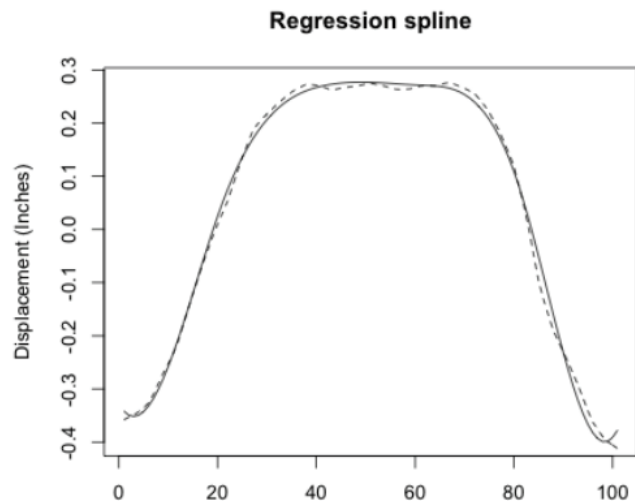
2.5 Análise de dados funcionais

Antes de abordar a FANOVA será feita uma breve descrição da abordagem da *Functional data analysis* (FDA). Existem quatro procedimentos principais no FDA: transformar os dados em funções, suavizar funções, registrar as funções e realizar a análise estatística (CRANE *et al.*, 2011).

1. Transformar os dados capturados em funções:

Inicialmente os dados da série temporal força vs. ângulo foram transformados em uma função. Portanto, se um ciclo fosse representado por n observações, transformando esses pontos de dados em uma função, o comportamento pode agora ser considerado uma observação funcional única. A figura abaixo ilustra um exemplo de transformação de uma série temporal em um dado funcional em que a linha pontilhada seria o dado original (série temporal) e a linha contínua o funcional desta série temporal:

Figura 3: Transformação de série temporal em dado funcional



Fonte: adaptada de CRANE *et al.*, 2011, p.4

1.2. Escolha da base ortogonal que vai representar os dados:

Dentre as várias bases ortogonais, as mais utilizadas são as bases de *Fourier* e *Spline*. Uma base de *Fourier* é tipicamente usada para dados periódicos, enquanto *Splines* (em particular *b-splines*) são usados para dados não periódicos. No presente estudo será utilizada a base de *Fourier* para reconstruir a série temporal, já que os dados de produção de torque são periódicos e estacionários. Uma vantagem importante de transformar dados discretos em funções é a facilidade com que as derivadas podem ser calculadas, que é uma atividade comum na análise biomecânica do movimento humano (CRANE *et al.*, 2011). Por exemplo, a partir do

dado de deslocamento é possível obter as velocidades e acelerações, sem a propagação de erro que haveria caso a derivada fosse realizada na própria série temporal.

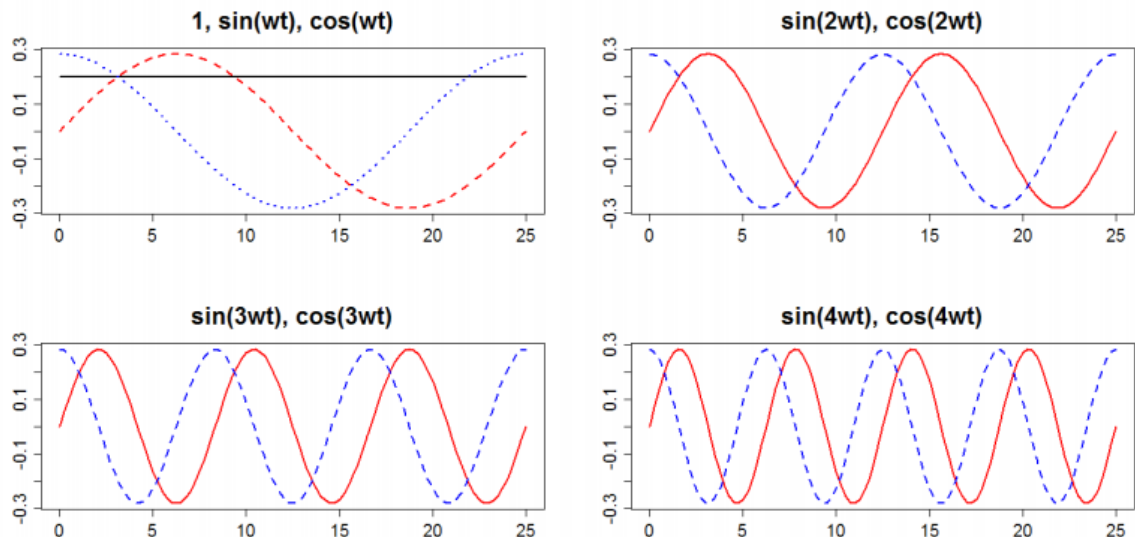
Uma maneira de armazenar observações funcionais é em termos de uma base. Uma base é um conjunto padrão de funções, denotado $\beta_1(t)$, $\beta_2(t)$, ..., $\beta_m(t)$, por exemplo, para que qualquer função de interesse possa ser expandida em termos das funções $\beta_j(t)$. Em termos formais, a série temporal de dados 'y' qualquer é representada pela seguinte equação (EQ.1):

$$y(t) = \sum_{j=1}^m \beta_j(t) c_j \quad \text{Equação 1}$$

Em que o vetor 'c' de coeficientes $c = (c_1 \dots c_m)$ que especifica a função e $\beta_j(t)$ representam as funções de base.

A Figura abaixo ilustra as quatro primeiras bases de *Fourier* que podem ser utilizadas para reconstruir uma série temporal cíclica qualquer $y(t)$.

Figura 4: Bases de *Fourier*



Legenda: sin (wt) em vermelho e cos (wt) em azul.

Fonte: Adaptado de Ramsay, Hooker e Graves (2009).

2. Suavização dos dados:

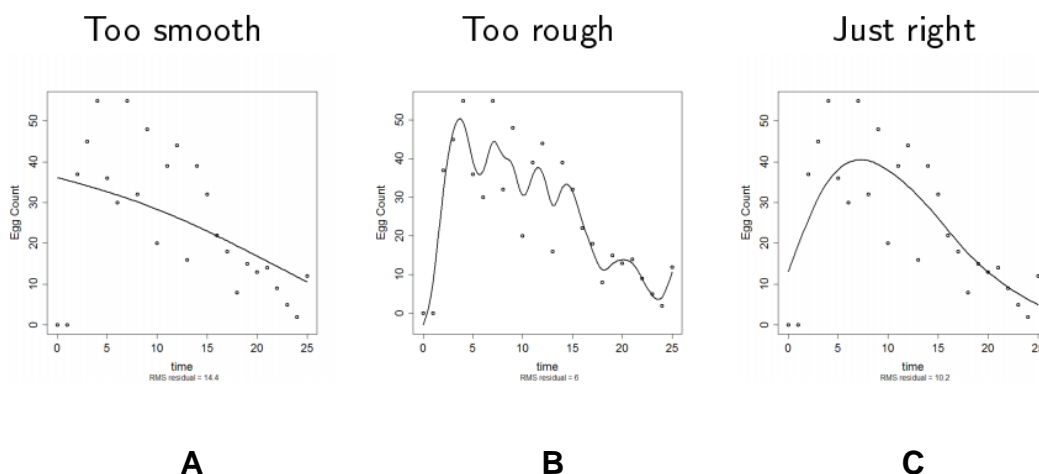
As funções podem ser suavizadas minimizando o número de bases ortogonais a serem utilizadas e adotando o método de mínimos quadrados (CRANE *et al.*, 2011) para definição do número ideal de bases. A questão que se coloca é o número de bases ‘ β_j ’ a serem utilizadas para reconstruir a série temporal, em que um número grande de bases ortogonais pode levar a modelar, além do sinal também os ruídos presentes, e um número pequeno de bases pode implicar em não capturar importantes modificações no comportamento da série temporal. Portanto, a escolha do número de bases ortogonais a serem utilizadas para reconstrução do sinal, passa por um critério objetivo dado pela minimização do erro quadrático médio (EQM) entre a série temporal e o modelo construído (EQ. 2).

$$EQM = \sum_{i=1}^n (y_i - x(t_i))^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta(t_i)c)^2 \quad \text{equação 2}$$

Em que a série temporal $x(t)$ foi reconstruída a partir das funções de base ‘ β ’ e seus coeficientes ‘ c ’.

A Figura 5 abaixo ilustra a reconstrução de um sinal, representado pelos pontos (.) por meio de diferentes números de bases ortogonais (linha contínua).

Figura 5: Exemplo de reconstrução de um sinal



Legenda: Suavização ou ajuste realizado com o número de bases ortogonais abaixo (A), acima (B) e com o número ideal (C) (linha contínua nas três imagens), definido pelo critério de erro quadrático médio.

Fonte: adaptada de Ramsay, Hooker e Graves (2009).

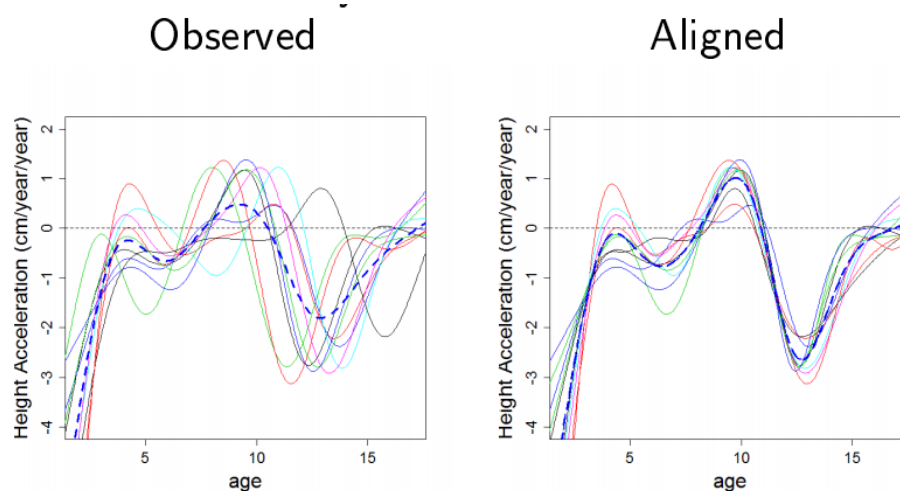
3. Registro das funções - Alinhamento de curvas:

Geralmente na análise biomecânica são realizadas várias tentativas de um determinado movimento, por diferentes razões, como por exemplo, o de garantir maior reprodutibilidade da informação adquirida. Se as séries temporais de diferentes tentativas apresentarem alguma variação de fase e/ou de amplitude, a curva média pode não representar com precisão o verdadeiro comportamento de diferentes realizações daquele movimento. O propósito do alinhamento de curvas é reduzir a variabilidade de fase enquanto preserva a forma e a amplitude das curvas. Um método comum para o alinhamento de curvas é um procedimento de normalização de tempo linear e um procedimento análogo na *FDA* se chama registro (*registration*).

O registro do ponto de referência é, uma forma mais simples de registrar um conjunto de curvas. Um ponto de referência é definido como um ponto identificável em todas as curvas. Pode ser um cruzamento de mínimos, máximos ou zero. O registro de ponto de referência alinha todos os pontos de referência especificados, fazendo com que a curva média represente de forma fidedigna as tentativas realizadas (CRANE *et al.*, 2011).

A Figura 6 abaixo mostra a esquerda uma curva média (linha pontilhada) gerada sem o registro das curvas, e à direita a curva média gerada após o registro.

Figura 6: Exemplo de sinais antes e após o procedimento registro



Fonte: Adaptada de Ramsay, Hooker e Graves (2009).

4. Análise estatística funcional:

Uma vantagem de tratar o comportamento de determinada variável como uma função é não reduzi-la a um único ponto para a análise, já que isso eliminaria informações que poderiam ser importantes para o fenômeno analisado (CRANE *et al.*, 2011). Portanto, ao utilizar o *FDA* e representar cada curva como uma função, é possível usar um análogo funcional dos métodos estatísticos tradicionais sem reduzir a variável a um único ponto. Como no presente estudo, tanto no primeiro (intensidade vs membro inferior) quanto no segundo objetivo (momento vs membro) compararemos dois fatores, a análise formal seria dada por (EQ.3):

$$Torque_{kc}(t) = \mu(t) + \alpha_c(t) + \varepsilon_{kc}(t) \quad \text{equação 3}$$

‘ μ ’ indica o perfil de torque médio em todas as condições. O termo α_c refere-se ao perfil de torque específico de uma condição ‘c’. O funcional residual ε_{kc} é a variação não explicada pelo modelo. Além disso, as análises resultam em curvas dos efeitos médios estimados para cada variável durante todo o ciclo da pedalada, com intervalos de confiança de 95% (IC). Pode-se afirmar que as condições experimentais são significativamente diferentes das demais, se os valores de IC não incluírem a linha zero (RØISLIEN *et al.*, 2009).

2.6 Análise estatística:

Inicialmente foi realizada uma análise descritiva dos dados para determinar a média e desvio padrão, sendo também verificados a normalidade e homocedasticidade da distribuição por meio dos testes de *Shapiro Wilk* e *Levene*, respectivamente.

Para verificar o efeito da intensidade de exercício sobre a AB foram utilizados os picos de torque dos dez primeiros ciclos de pedalada após a estabilização da cadência (90 rpm) em cada uma das três intensidades propostas, por meio da análise de Variância (ANOVA two-way de medidas repetidas), sendo os fatores analisados, intensidade (60, 80 e 95% da potência máxima) e membros (direito e esquerdo).

Com intuito de verificar o efeito do momento do exercício sobre a AB foi utilizada a média dos dez primeiros ciclos de todas as intensidades após a estabilização da cadência (90 rpm) e dos 10 ciclos finais também de todas as intensidades antes da cadência ser inferior a 85 rpm, por meio da análise de variância (ANOVA two-way de medidas repetidas). Os fatores utilizados nessa análise foram momento (início e fim) e membros (direita e esquerda).

Para todas as ANOVAS realizadas, caso o teste F fosse significativo, foi aplicado um teste *post-hoc* de *Tukey* para identificar onde houve essa diferença. O tamanho do efeito foi mensurado pelo *eta* ao quadrado (η^2), em que os valores de referência para classificação foram: grande = $> 0,14$, médio = $0,14 - 0,06$; e pequeno = $0,059 - 0,01$ (FRITZ; MORRIS; RICHLER, 2012). Cohen classificou os tamanhos de efeito como pequeno ($d = 0,2$), médio ($d = 0,5$) e grande ($d \geq 0,8$). A ANOVA foi realizada no software SPSS 20.0 (Inc., Chicago, Illinois) e o nível de significância adotado foi de 5%.

Para determinar as assimetrias nas séries temporais, foi aplicada uma análise de variância funcional *two-way* (FANOVA) para medidas repetidas, considerando os mesmos fatores incluídos na ANOVA (membro e intensidade) e (membro e momento), respectivamente para cada um dos objetivos do estudo. A rotina da FANOVA foi implementada no Matlab 2017a (MathWorks, USA) de acordo com Ramsay, Hooker e Graves (2009).

3. RESULTADOS

A Tabela 1 apresentam os dados descritivos em média (\pm desvio padrão) da variável pico de torque, separadas por membro inferior (direito e esquerdo) nos momentos iniciais e finais.

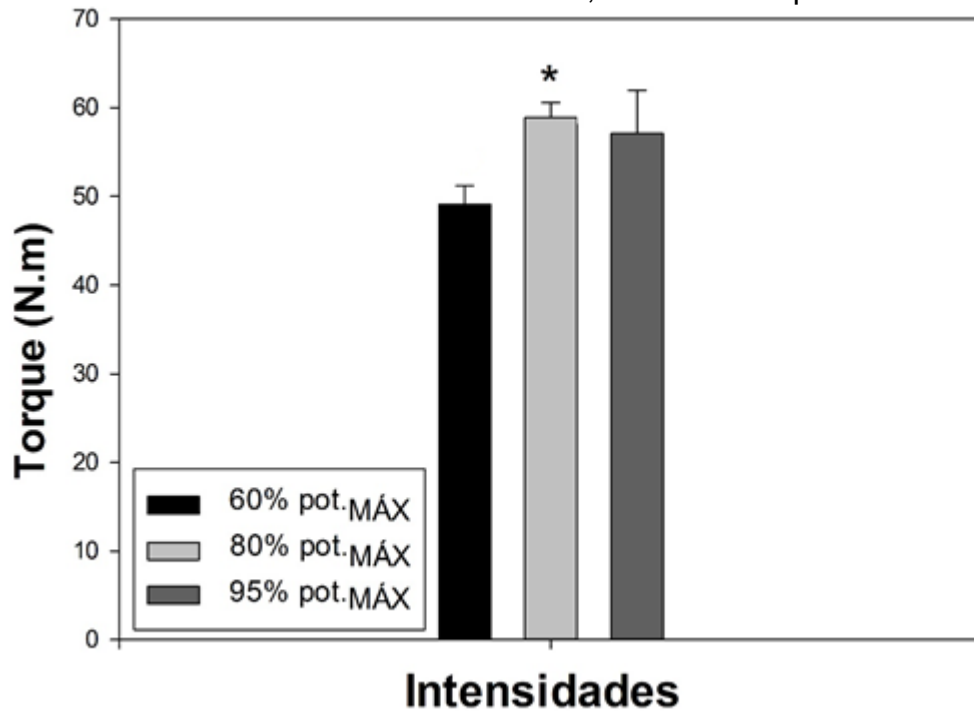
Tabela 1 – Média do pico de torque dos membros direito e esquerdo nos momentos iniciais e finais de três intensidades de exercício.

Momentos	Início		Fim	
	PT (N·m)	Direito	PT Esquerdo(N·m)	PT Esquerdo(N·m)
60% potência _{Máx}	48,17 (9,8)		48,45 (10,7)	51,02 (9,8)
80% potência _{Máx}	58,04 (7,4)		57,67 (7,8)	61,50 (9,3)
95% potência _{Máx}	55,80 (21,6)		55,72 (21,3)	91,13 (59,9)

Legenda: PT = pico de torque

Durante todas as intensidades a PSE mínima atingida foi de 17, sendo que nas intensidades 80 e 95% da potência máxima todos os indivíduos atingiram o valor 20 na escala PSE. Na análise realizada para verificar o efeito da intensidade no comportamento da assimetria bilateral, não foi verificada nenhuma interação entre membros (direito e esquerdo) e intensidade (membro inferior x intensidade: $F_{1,1} = 0,207$; $p = 0,33$; $\eta^2 = 0,11$). Porém, foi encontrado um efeito principal de intensidade ($F = 68,73$; $p = 0,001$; $\eta^2 = 0,79$), sendo que houve diferença apenas entre as intensidades 60 ($\bar{x} = 48,31$; $\sigma = 2,24$) e 80% da potência máxima ($\bar{x} = 57,86$; $\sigma = 1,66$) com tamanho de efeito grande ($d = 4,84$). Esse tamanho de efeito grande reforça que independente dos membros os desempenhos de pico de torque foram maiores para intensidade de 80% da potência máxima comparada à intensidade de 60% da potência máxima. A Figura 7 apresenta os dados relacionados ao efeito principal de intensidade.

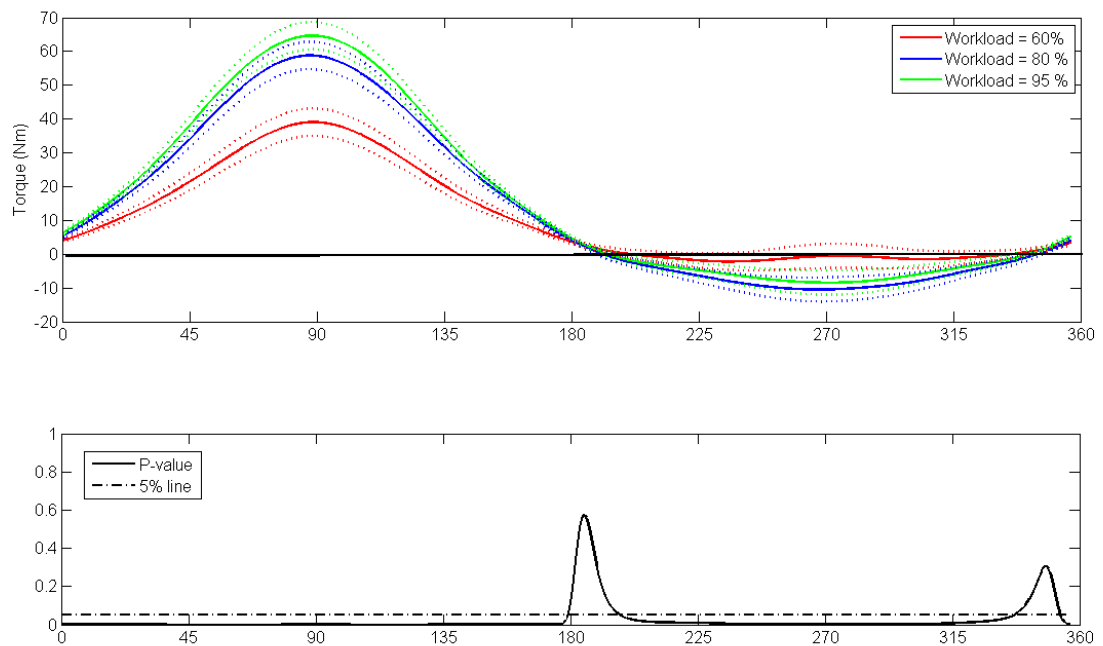
FIGURA 7 – Efeito principal de membros (média de produção do pico de torque de ambos os membros nas intensidades de 60, 80 e 95% da potência máxima)



Legenda: * = diferença significativa entre as intensidades 60 e 80% ($p < 0,05$).

Fonte: Autoria própria.

A FANOVA mostrou que as curvas de torque não diferiram entre as intensidades de 80% e 95%, mas ambas intensidades provocam perfis de torque superiores a 60% da potência. As diferenças na curva de torque dependem não apenas dos picos de torque, mas ocorreram durante 0-175° e 220-320° dos perfis de torque de ciclismo (Figura 8).

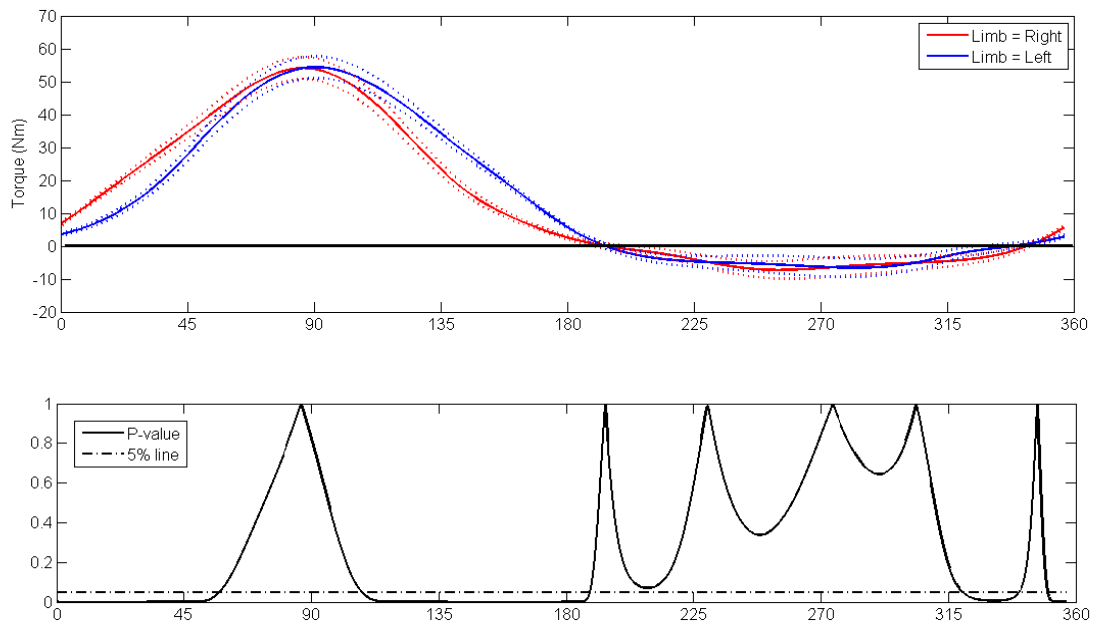
FIGURA 8 - FANOVA comparando curvas de torque entre as três intensidades

Legenda: As curvas representam a média e os intervalos de confiança de 95% dos perfis de torque (N·m) para as diferenças entre as diferentes intensidades de exercício (painel superior). O painel inferior indica os intervalos em que foram encontradas diferenças significativas no FANOVA (a linha horizontal pontilhada indica o valor P de 0,05).

Fonte: Autoria própria.

A ANOVA não identificou efeito da intensidade nos picos de torque entre os membros (AB), enquanto a FANOVA identificou diferenças entre os membros, independentemente da intensidade do exercício (efeito principal). A FANOVA identificou assimetrias entre os membros, considerando a curva de torque de 0 a 50°, 130 a 180° e 320 a 330° do ciclo de pedalada (FIGURA 9).

Figura 9 – Efeito principal de membros - FANOVA comparando curvas de torque entre os membros direito e esquerdo



Legenda: As curvas representam a média e os intervalos de confiança de 95% dos perfis de toque (N·m) para a perna direita e esquerda (painel superior). O painel inferior indica os intervalos em que foram encontradas diferenças significativas no FANOVA (a linha horizontal pontilhada indica $P = 0,05$).

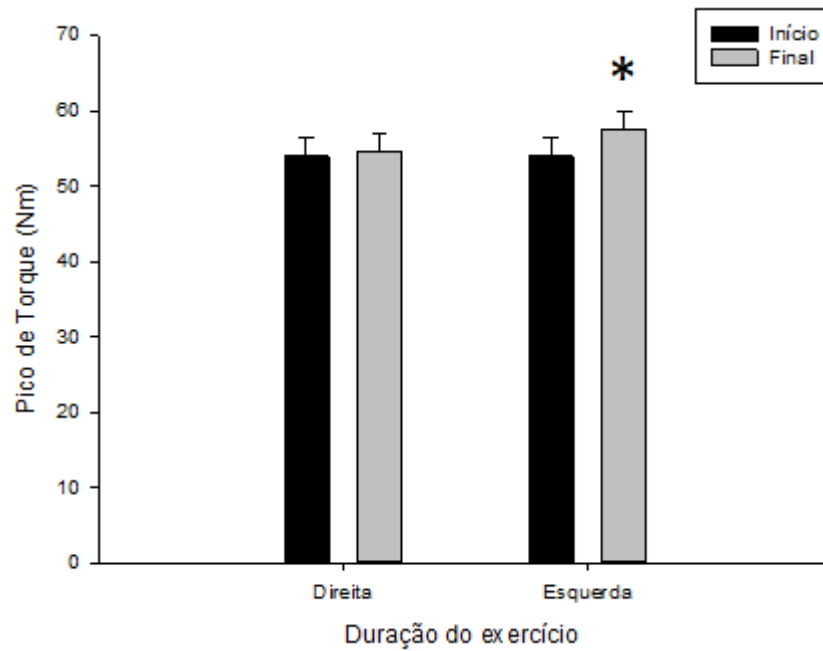
Fonte: Autoria própria.

3.2 AB e fadiga

Na análise relacionada ao efeito do momento de execução do exercício (início e fim) e o comportamento da assimetria bilateral utilizando-se a ANOVA, foi encontrada uma interação dupla (membro inferior x momento: $F_{1,1} = 8,78$; $p = 0,08$; $\eta^2 = 0,31$) com tamanho de efeito pequeno ($d = 0,26$). Além disso, foi encontrado um efeito principal de membros ($F_1 = 10,865$; $p = 0,04$; $\eta^2 = 0,36$) com tamanho de efeito médio ($d = 0,58$), o membro inferior direito apresentou média de pico de torque de 54,33 N·m ($\sigma = 2,37$) e o membro inferior esquerdo apresentou média de pico de torque igual a 55,72 N·m ($\sigma = 2,44$).

As Figuras 10 e 11 representam os resultados de interação membro x momento e efeito principal de membros, respectivamente.

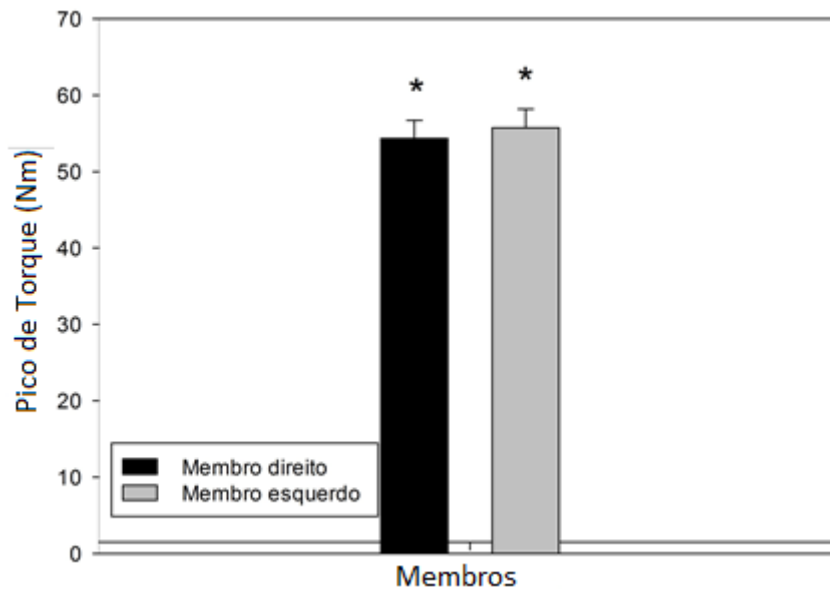
Figura 10 – Interação membro x momento (média de produção de torque dos membros direito e esquerdo no momento inicial e final de exercício)



Legenda: * = diferença significativa do membro inferior esquerdo no final do exercício quando comparado ao início e a perna direita em ambos momentos ($p < 0.05$).

Fonte: Autoria própria.

Figura 11 – Efeito principal de membros (média de produção do pico de torque dos membros inferiores direito e esquerdo)

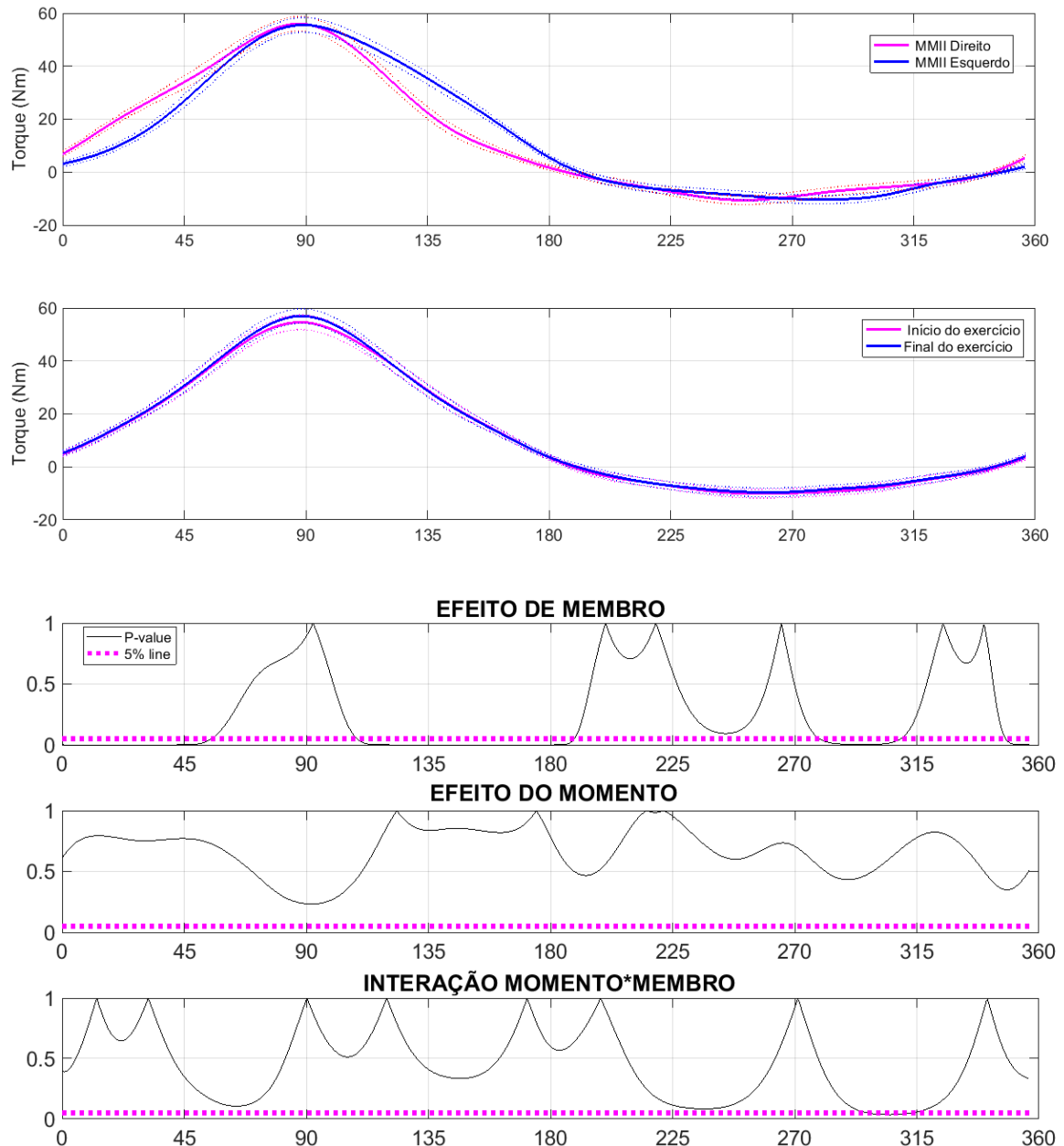


Legenda: * = diferença significativa entre os membros inferiores direito e esquerdo ($p < 0.05$) independente do momento avaliado.

Fonte: Autoria própria.

Já a análise funcional não mostrou interação membro*tempo, ou efeito de momento. Porém houve efeito de membros, demonstrando assimetrias em alguns trechos do ciclo (0° a 45°, 100° a 180° e 280° a 300°) independente do momento de exercício investigado.

Figura 12 – FANOVA comparando curvas de torque entre os membros (direito e esquerdo) e momentos início e fim.



Legenda: As curvas representam a média e os intervalos de confiança de 95% dos perfis de toque (N·m) para as diferenças entre os diferentes membros e momentos de exercício (1° e 2° painel). Os três painéis inferiores indicam os intervalos em que foram encontradas diferenças significativas no FANOVA (a linha horizontal pontilhada indica o valor P de 0,05).

4. DISCUSSÃO

A discussão será feita de acordo com os dois objetivos do estudo:

4.1. Intensidade e AB

O primeiro objetivo do presente estudo foi verificar o efeito de diferentes intensidades de exercício sobre a assimetria bilateral de produção de torque, por meio da análise funcional (FANOVA) em comparação com a análise estatística tradicional de variância (ANOVA).

Considerando os resultados da ANOVA, não houve diferenças entre os picos de torque dos membros esquerdo e direito em nenhuma das intensidades investigadas. Portanto, considerando essa análise os atletas seriam considerados simétricos. Os resultados da ANOVA corroboram os achados de García-López *et al.* (2015) que também verificaram valores simétricos na pedalada, em variáveis como impulso e pico de torque máximo e mínimo, além de variáveis cinemáticas. Nesse estudo foram realizados três protocolos com potências fixas autoselecionadas, que representassem uma intensidade baixa, média e alta para os ciclistas dos quatro diferentes grupos separados pelo nível competitivo (mundial, continental, nacional e competições locais). Independente da intensidade do exercício e do nível dos ciclistas os resultados demonstraram um padrão de pedalada simétrico, o que não corrobora com outros estudos que verificaram diferenças entre os MMII (assimetria na produção de força) dependendo da intensidade avaliada (CARPES *et al.*, 2007; CARPES *et al.*, 2008; BINI *et al.*, 2010). Uma possível explicação para essa divergência dos resultados encontrados pode ser devido às diferentes variáveis dinâmicas utilizadas para a análise das diferenças entre os MMII e os diferentes instrumentos utilizados para a aquisição dos dados do pedivela/pedal. Os procedimentos do presente estudo assemelham-se ao do estudo de García-Lopez *et al.* (2015), uma vez que foi utilizada a mesma variável, pico de torque, e essa foi medida por um cicloergômetro com as mesmas especificações e fabricante durante um protocolo com intensidade fixa. Além disso, em ambos os estudos os ciclistas foram orientados a manter o ritmo de pedalada próximo a 90 rpm. Todas essas semelhanças podem ter sido uma justificativa para a proximidade nos resultados do presente estudo e os resultados de García-Lopez *et al.* (2015).

Diferentemente da ANOVA que não identificou assimetrias no pico de torque, os resultados da FANOVA demonstraram um padrão assimétrico em favor da perna direita (preferida), independentemente da intensidade do exercício. Interpretamos esse resultado de duas formas: as assimetrias são muito individuais, pois apresentam alta variabilidade no agrupamento de diferentes atletas (DALY & CAVANAGH, 1976; CARPES *et al.*, 2007; BINI *et al.*, 2016) e, portanto, podem ser consideradas uma “assinatura” do atleta sendo consistente em diferentes intensidades, como observado anteriormente quando picos de torques assimétricos semelhantes foram encontrados para ciclistas pedalando em diferentes alturas de selim (DIEFENTHAELER *et al.*, 2016). Por outro lado, seriam esperadas diferenças no pico de torque entre as intensidades mostradas na ANOVA, considerando que uma maior potência requer mais torque e os picos de torques são coincidentes com as fases da revolução do pedivela, na qual existe uma alavanca maior para a aplicação de força efetiva. Ao contrário da abordagem clássica da ANOVA, que identificou diferenças significativas apenas para o pico de torque entre 60 e 80%, a FANOVA identificou diferenças entre 60 e 80% e 60 e 95%, tanto para a fase propulsiva (0-175°) quanto para a recuperação (220-320°) (Figura 8), independentemente do membro avaliado. Portanto, podemos considerar que a FANOVA foi capaz de mostrar diferenças muito mais relacionadas à técnica de pedalada, a maneira como os ciclistas aplicam força ao pedivela, enquanto a manipulação das intensidades não foi suficiente para alterar os níveis de assimetria dos ciclistas investigados.

Uma possível explicação para a manutenção dos níveis de assimetria nas diferentes intensidades testadas pode estar relacionada ao tipo de exercício realizado. Em estudos que encontraram diferenças nos valores de assimetria em distintas intensidades (CARPES *et al.*, 2007), o protocolo de testes realizado foi o contrarrelógio, ou seja, os ciclistas poderiam manipular a intensidade e cadência durante o teste para percorrer o trecho proposto no menor tempo possível. Dessa forma, para manutenção de uma mesma potência poderia-se utilizar variadas estratégias, e essas poderiam afetar o comportamento da AB de acordo com a variação da cadência ou da produção de torque. Em um estudo com potência fixa até a fadiga Diefenthaler *et al.* (2012) perceberam que nos momentos finais do teste os indivíduos tendiam a aumentar a produção de força nos pedais, mas ao mesmo tempo diminuía a cadência de pedalada de modo a conseguirem sustentar a potência proposta. Por outro lado, Smak, Neptune e Hull (1999) analisaram a AB em um protocolo com cadência e intensidade fixas e não encontraram diferenças entre os membros inferiores. Considerando que o presente estudo utilizou um

protocolo com intensidade e também cadência fixa, a utilização de estratégias como as descritas por Diefenthaler *et al.* (2012) não foram possíveis de serem realizadas, o que pode ter contribuído de forma importante para a ausência de diferenças entre os membros nas diferentes intensidades de exercício, assim como encontrado no estudo de Smak, Neptune e Hull (1999).

Enquanto os picos de torque não diferiram nas abordagens ANOVA e FANOVA, a segunda abordagem demonstrou que os ângulos de pedivela anteriores e posteriores ao pico de torque apresentaram assimetrias entre os membros. A FANOVA apresentou comportamento assimétrico em duas porções da série temporal (0 a 50°, 130 a 180°), independentemente da intensidade do exercício (60, 80, 95% da potência_{MÁX}). Considerando que o membro inferior direito foi capaz de atingir o pico de torque mais rapidamente (0 a 50°) e reduzir mais acentuadamente (130 a 180°) em comparação com o membro não preferido, especulamos que aspectos relacionados a coordenação podem estar relacionados a esses diferentes perfis de produção de torque entre os dois membros na fase propulsiva da pedalada. Entretanto, estudos futuros deveriam investigar tanto a cinemática da pedalada quanto o registro eletromiográfico para uma maior compreensão dos mecanismos associados a essas diferenças encontradas na fase propulsiva.

Neste estudo, um objetivo foi determinar se a observação das assimetrias de pedalada, mais especificamente em relação a produção de torque, depende da abordagem para análise de dados. Foram comparados os resultados da ANOVA e FANOVA para registros bilaterais de torques durante o ciclo em diferentes intensidades submáximas. Nossa hipótese de que a FANOVA seria mais sensível às assimetrias foi confirmada e discutimos esse resultado principal, visto que a FANOVA considera o perfil da curva de torque, ou seja, todo o ciclo de pedalada, o que permite uma melhor compreensão de todo o padrão de movimento biomecânico. Já nossa hipótese sobre o efeito da intensidade do exercício no comportamento da AB de torque não foi confirmada pelas abordagens ANOVA e FANOVA.

Estudos anteriores, abordando assimetrias na pedalada, consideraram valores de pico para relatar diferenças entre os membros e a influência da configuração do exercício nessas assimetrias. Esses estudos empregaram estatísticas clássicas para descrever os padrões de assimetria de produção de torque entre diferentes intensidades e isso resultou em alguns resultados controversos (CARPES *et al.*, 2007; CARPES *et al.*, 2008; BINI *et al.*, 2010; GARCÍA-LÓPEZ *et al.*, 2015). Embora sejam relevantes para o conhecimento das características da pedalada, esse tipo de análise negligencia que,

devido à variabilidade dos graus de liberdade mecânicos do sistema de movimento humano, é possível iniciar um movimento a partir da mesma posição inicial e obter uma posição final idêntica com diferentes movimentos parciais (ANDRADE *et al.*, 2014). Nesse sentido, um aspecto que pode ter contribuído para a divergência de resultados entre estudos anteriores é o fato de resumir as informações sobre a produção de torque do pedal em um único ponto (pico de torque).

A principal vantagem do uso a FANOVA é que os dados brutos não precisam ser reduzidos para um único valor resumido, ou grupo de valores, para acomodar análises estatísticas (CRANE *et al.*, 2011). Além disso, a implementação da FANOVA demonstrou ser relativamente direta e muitas funções básicas necessárias estão disponíveis gratuitamente na web (RAMSAY e SILVERMAN, 2005). No presente estudo, a FANOVA foi sensível para detectar informações práticas relevantes sobre assimetria, o que foi ignorado pela análise clássica empregando ANOVA. Esses achados estão de acordo com Røislien *et al.* (2009), que afirmaram que métodos univariados costumam ser insuficientes para as análises estatísticas e Schöllhorn *et al.* (2004), que propuseram que a abordagem de dados de tempo contínuo adicione informações relevantes para análises de movimento. Além disso, as rotinas para a análise FANOVA são facilmente implementadas e o custo computacional é baixo (RAMSAY e SILVERMAN, 2005).

4.2. AB e fadiga

O segundo objetivo do estudo foi verificar se o momento de execução do exercício (início e fim) afeta o comportamento da assimetria bilateral por meio da análise funcional (FANOVA) em comparação com a análise de variância (ANOVA).

Foi verificada diferença significativa entre os níveis de AB de pico de torque através da ANOVA, entre os momentos iniciais e finais de exercício, porém, o tamanho de efeito encontrado foi pequeno ($d= 0,26$). Do ponto de vista prático, apesar de haver diferenças significativas entre os momentos de exercício, o tamanho de efeito pequeno indica que essa pequena diferença não implica em modificações na AB entre os momentos iniciais e finais do exercício. Não apresentando assim evidências suficientes para se afirmar que diferentes momentos ou a indução da fadiga conduzam a padrões de assimetria distintos. Esses resultados estão de acordo com os resultados apresentados por Bini e Hume (2015), que não verificaram diferenças significativas nos níveis de assimetria, em diferentes variáveis, ao longo de teste contrarrelógio de 4 km. Uma possível explicação para esse resultado seria que os MMII apresentaram alterações

semelhantes após o início do teste, visto que ciclistas parecem ser capazes de manter a técnica de pedalada em exercício até a exaustão (DIEFENTHAELER *et al.*, 2012), e isso pode não ter permitido uma alteração significativa nos níveis de assimetria de produção de torque. Essa hipótese contraria as evidências da literatura propostas por Daly e Cavanagh (1976) e Carpes *et al.* (2007) de que o membro inferior que produz mais força sofreria mais os efeitos da fadiga, reduzindo conseqüentemente os níveis de assimetria. Segundo Carpes *et al.* (2011) a simetria durante os testes de carga constante pode ser explicada pelo estado sensório-motor recíproco do membro contralateral (TING *et al.*, 1998) e portanto, a fadiga e seus efeitos não são o único fator que leva à simetria na ativação muscular.

Acerca da FANOVA, a hipótese sobre a relação do momento de exercício e AB também não foi confirmada por essa abordagem, pois não foram encontradas diferenças no perfil de produção de torque nos momentos considerados. Uma possível explicação para esse resultado foi o critério adotado para a escolha do que foi definido como o 'fim' do exercício. Este era definido como os últimos 10 ciclos em que o indivíduo ainda mantinha a cadência superior a 85 rpm. Desse ponto de vista, apesar dos atletas terem relatado elevados valores de PSE (~17) e, portanto, segundo alguns autores poderiam ser considerados fadigados, pode ser que o fato de não termos avaliado efetivamente os últimos ciclos de pedalada quando a cadência era inferior ao limite estabelecido pode ter interferido nos resultados. Para além desta questão metodológica o mesmo argumento utilizado anteriormente de que os MMII apresentaram alterações semelhantes após o início do teste, visto que ciclistas parecem ser capazes de manter a técnica de pedalada em exercício até a exaustão (DIEFENTHAELER *et al.*, 2012), e isso pode não ter permitido uma alteração significativa nos níveis de assimetria de produção de torque também se coloca.

5. CONCLUSÃO

As hipóteses de que o aumento da intensidade e o momento do exercício influenciaram no comportamento da assimetria não foram confirmadas, sendo que a característica do protocolo de intervenção pode ter influenciado nos resultados. Entretanto, a capacidade da FANOVA em identificar, no ciclo da pedalada, que o membro inferior direito foi capaz de atingir o pico de torque mais rapidamente (0 a 50°) e reduzir mais acentuadamente (130 a 180°) em comparação ao membro não preferido mostra que a FANOVA parece mais sensível na detecção da assimetria no perfil de produção de torque em ciclistas amadores comparado a ANOVA e portanto, a FDA tem a capacidade de contribuir significativamente para a análise e compreensão da assimetria na biomecânica esportiva. Estudos futuros deveriam utilizar a FDA em variáveis cinemáticas e da eletromiografia para ampliar os mecanismos de compreensão sobre a assimetria no ciclismo.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, André GP *et al.* Functional data analyses for the assessment of joint power profiles during gait of stroke subjects. **Journal of applied biomechanics**, v. 30, n. 2, p. 348-352, 2014.
- BINI, R. R. *et al.* External work bilateral symmetry during incremental cycling exercise. In: **ISBS-Conference Proceedings Archive**. 2007.
- _____.; DIEFENTHAELER, F.; MOTA, C. B. Fatigue effects on the coordinative pattern during cycling: Kinetics and kinematics evaluation. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 20, n. 1, p. 102-107, 2010.
- _____.; HUME, P. A. Relationship between pedal force asymmetry and performance in cycling time trial. **The Journal of sports medicine and physical fitness**, v. 55, n. 9, p. 892, 2015.
- _____. *et al.* Pedal force asymmetries and performance during a 20-km cycling time trial. **Kineziologija**, v. 48, n. 2, p. 1-2, 2016.
- BORG, G. Psychophysical bases of perceived exertion. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.14, n. 5, p. 377-381, 1982.
- CANDOTTI, Claudia Tarrago *et al.* Effective force and economy of triathletes and cyclists. **Sports Biomechanics**, v. 6, n. 1, p. 31-43, 2007.
- _____. Características biomecânicas e fisiológicas da técnica de pedalada de ciclistas e triatletas. 2003.
- CARPES, Felipe P. *et al.* Influence of leg preference on bilateral muscle activation during cycling. **Journal of Sports Sciences**, v. 29, n. 2, p. 151-159, 2011.
- CARPES, Felipe P.; MOTA, Carlos B.; FARIA, Irvin E. On the bilateral asymmetry during running and cycling—A review considering leg preference. **Physical Therapy in Sport**, v. 11, n. 4, p. 136-142, 2010.
- _____. *et al.* Aplicação de força no pedal em prova de ciclismo 40 km contra-relógio simulada: estudo preliminar. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, v. 19, n. 2, p. 105-113, 2005.
- _____. *et al.* Bilateral pedaling asymmetry during a simulated 40-km cycling time-trial. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 47, n. 1, p. 51, 2007.
- _____. *et al.* During an incremental exercise cyclists improve bilateral pedaling symmetry. **Brazilian journal of biomotricity**, v. 2, n. 3, p. 155-159, 2008.
- _____. Produção de torque no ciclismo: análise da simetria na pedalada durante 40 km simulados. 2004.
- CRANE, Elizabeth *et al.* Functional data analysis for biomechanics. **Theoretical biomechanics**, p. 77-92, 2011.

DALY, D. J.; CAVANAGH, P. R. Asymmetry in bicycle ergometer pedalling. **Medicine and Science in Sports**, v. 8, n. 3, p. 204-208, 1975.

DIEFENTHAELER, F.; BINI, R.; VAZ, M. A. Analysis of pedaling technique during cycling until exhaustion. **Motriz: Revista de Educação Física**, v. 18, n. 3, p. 476-486, 2012.

_____ *et al.* Influence of saddle height and exercise intensity on pedalling asymmetries in cyclists. **Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano**, v. 18, n. 4, p. 411-418, 2016.

DOREL, Sylvain *et al.* Changes of pedaling technique and muscle coordination during an exhaustive exercise. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 41, n. 6, p. 1277-1286, 2009.

EBERT, Tammie R. *et al.* Power output during a professional men's road-cycling tour. **International journal of sports physiology and performance**, v. 1, n. 4, p. 324-335, 2006.

EDELIN, O.; POLIN, D.; TOURNY-CHOLLET C.; & WEBER, J. Effect of workload on bilateral pedaling kinematics in non-trained cyclists. **Journal of Human Movement Studies**, v. 46, n. 6, p. 493-517, 2004.

FARIA, Erik W.; PARKER, Daryl L.; FARIA, Irvin E. The science of cycling: factors affecting performance--Part 2. **Sports medicine**, v. 35, n. 4, p. 313-338, 2005.

FRITZ, Catherine O.; MORRIS, Peter E.; RICHLER, Jennifer J. Effect size estimates: current use, calculations, and interpretation. **Journal of experimental psychology: General**, v. 141, n. 1, p. 2, 2012.

GARCÍA-LÓPEZ, Juan *et al.* No bilateral asymmetry during pedalling in healthy cyclists of different performance levels. In: **ISBS-Conference Proceedings Archive**. 2015.

HODGES, S. J.; PATRICK, R. J.; REISER, R. F. Effects of fatigue on bilateral ground reaction forces asymmetries during the squat exercise. **Journal Strength Conditioning Research**, v. 25, n. 11, p. 3107 - 3117, 2011.

LAURENT, C. Matthew *et al.* A practical approach to monitoring recovery: development of a perceived recovery status scale. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 25, n. 3, p. 620-628, 2011.

LUCÍA, A., HOYOS, J., PEREZ, M., SANTALLA, A., & CHICHARRO, J. L. Inverse relationship between $\dot{V}O_{2max}$ and economy/efficiency in world-class cyclists. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, 34, p. 2079–2084, 2002.

POULIQUEN, Camille *et al.* The application of musculoskeletal simulation to assess bilateral asymmetry during a constant load cycling test. In: **22nd Congress of the European Society of Biomechanics**, France. 2016.

QUESADA, Jose Ignacio Priego *et al.* The association of bike fitting with injury, comfort, and pain during cycling: an international retrospective survey. **European journal of sport science**, v. 19, n. 6, p. 842-849, 2019.

_____ *et al.* The categorization of amateur cyclists as research participants: findings from an observational study. **Journal of Sports Sciences**, v. 36, n. 17, p. 2018-2024, 2018.

RAMSAY, J. O.; HOOKER, Giles; GRAVES, Spencer. Introduction to functional data analysis. In: **Functional data analysis with R and MATLAB**. Springer, New York, NY, p. 1-19, 2009.

_____.; SILVERMAN, B. W. Principal components analysis for functional data. **Functional data analysis**, p. 147-172, 2005.

RØISLIEN, J., *et al.* Simultaneous estimation of effects of gender, age and walking speed on kinematic gait data. **Gait & posture**, 30(4), 441-445, 2009.

ROSSATO, M. *et al.* Cadence and workload effects on pedaling technique of well-trained cyclists. **International Journal of Sports Medicine**, v. 29, n. 09, p. 746-752, 2008.

SILBERMAN, Marc R. *et al.* Road bicycle fit. **Clinical Journal of Sport Medicine**, v. 15, n. 4, p. 271-276, 2005.

SMAK, W.; NEPTUNE, R. R.; HULL, M. L. The influence of pedaling rate on bilateral asymmetry in cycling. **Journal of Biomechanics**, v. 32, n. 9, p. 899-906, 1999.

TING, Lena H. *et al.* Sensorimotor state of the contralateral leg affects ipsilateral muscle coordination of pedaling. **Journal of neurophysiology**, v. 80, n. 3, p. 1341-1351, 1998.

APÊNDICE

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (Terminologia obrigatória em atendimento a resolução 466/12 - CNS-MS)

Venho por meio deste convidá-lo a participar como voluntário do estudo do estudo “Análise da assimetria de torque no pedal de ciclistas em exercício de longa duração com intensidade fixa”, sob a orientação do Professor Dr. André Gustavo Pereira Andrade (UFMG) e Professor Dr. Felipe Pivetta Carpes (UNIPAMPA).

OBJETIVO DO ESTUDO

Verificar quais são as estratégias adotadas e mudanças nos níveis de assimetria bilateral de produção de torque em resposta a duas diferentes intensidades (60%, 80% e 95% da potência máxima), em ciclistas amadores com distintos níveis de experiência durante pedalada até a fadiga.

VOLUNTÁRIOS

Para participar deste estudo você deverá ser do sexo masculino, ter idade entre 20 e 45 anos; ausência de histórico de lesões ou dores musculoesqueléticas nos membros inferiores (MMII) nos últimos seis meses; ser ciclista amador competitivo (apresentar velocidade média de 28,5km/h durante os treinos e volume médio de 260km/semana) ou ciclista amador recreacional (apresentar velocidade média de 26,1km/h durante os treinos e volume médio de 164km/semana).

PROCEDIMENTOS

Para participação nessa pesquisa serão necessários três encontros com duração total de 1h00min a 1h30min. As coletas serão realizadas no Laboratório de Neuromecânica localizado na Unipampa. No primeiro encontro, você será orientado e receberá todas as informações dos procedimentos de pesquisa, e conhecerá todos os instrumentos da coleta, e quaisquer outras dúvidas serão sanadas e respondidas. Caso concorde em se voluntariar, você será submetido a: [1] preenchimento de uma anamnese e medidas antropométricas (massa e altura), [2] teste progressivo para determinação da potência máxima e familiarização com as intensidades (60, 80 e 95% da potência máxima); [3] realização dos protocolos experimentais, em que o voluntário deverá realizar um aquecimento padronizado e um teste até a fadiga em uma das potências determinadas previamente (80 e 95% da potência máxima); [4] 48 horas após o primeiro teste até a fadiga os indivíduos serão submetidos mais uma vez a esse teste, porém, com a outra intensidade ainda não realizada. Você deverá manter sua rotina diária e não poderá realizar exercícios vigorosos no período de coletas. [a] Protocolo teste progressivo para determinação da potência máxima: você irá pedalar por dez minutos com uma carga de 50W e a cada três minutos serão acrescidos 25W de potência. A cadência de pedalada deverá ser mantida acima de 90 rotações por minuto, caso não seja possível o teste será finalizado e a última potência será considerada a potência máxima. [d] Protocolo de teste até a fadiga: você deverá pedalar em uma cadência auto selecionada e potência fixa pelo máximo de tempo possível em uma potência pré-determinada (60, 80 e 95% da potência máxima).

Todos os protocolos poderão ser interrompidos por você e/ou pela verificação da impossibilidade de se manter a potência/cadência proposta ou a técnica adequada dos movimentos nos protocolos pelo pesquisador.

RISCOS E BENEFÍCIOS

Você será submetido a um procedimento experimental, consistindo na análise da assimetria bilateral de produção de torque durante protocolos com intensidades fixas até a fadiga. Os testes em cicloergômetros são regularmente utilizados em adultos em pesquisas envolvendo a avaliação da capacidade aeróbia e avaliação da produção de torque dos membros inferiores, sendo que os riscos associados à sua prática são similares àqueles de atividade cotidianas. A possibilidade da ocorrência de riscos como constrangimento, cansaço ou desconforto durante o ciclismo são pequenas.

Com relação aos protocolos até a fadiga, todos poderão ser interrompidos por você e/ou pela verificação da impossibilidade de se manter a intensidade estipulada ou a técnica adequada dos movimentos nos protocolos pelo pesquisador. Não é esperado que você seja exposto a condições que gerem dano psicológico ou constrangimento, no entanto, caso você se sinta de alguma forma lesado, ameaçado ou constrangido, você tem liberdade para abandonar a pesquisa, sem qualquer justificativa ou ônus. Ainda, todas as suas informações pessoais serão mantidas em sigilo, impossibilitando a sua identificação por terceiros.

Não há benefícios diretos ao participante da pesquisa. Porém, o fornecimento de informações sobre o comportamento da assimetria bilateral durante pedalada levarão a um melhor entendimento desse fenômeno e poderá auxiliar no direcionamento de ações no treinamento físico dos atletas.

Sempre que desejar, será fornecido esclarecimento sobre qualquer etapa do estudo.

1. Este termo de consentimento será emitido em duas vias, uma que ficará com você, a outra com os pesquisadores.
2. A qualquer momento, você poderá interromper sua participação na pesquisa e, também, poderá retirar seu consentimento, sem que isso lhe traga qualquer prejuízo.
3. Em caso de dúvida sobre questão ética, ou qualquer denúncia, você poderá comunicar ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (CEP-UFMG), contatos seguem abaixo, de forma anônima, sem sofrer qualquer prejuízo.
4. As informações conseguidas através da sua participação não permitirão a identificação da sua pessoa, exceto aos responsáveis pelo estudo, e a divulgação das mencionadas informações só será feita entre os profissionais estudiosos do assunto.
5. Quaisquer informações de ordem pessoal jamais serão compartilhadas, arquivadas ou utilizadas para outro fim do que o necessário à realização dos procedimentos.
6. Finalmente, você, _____ tendo compreendido perfeitamente tudo o que lhe foi informado a respeito da sua participação no mencionado estudo, e estando consciente dos seus direitos, das suas responsabilidades, dos riscos e dos benefícios que a sua participação implicam, concorda em participar e **DÁ SEU CONSENTIMENTO, AFIRMANDO QUE PARA ISSO VOCÊ NÃO FOI FORÇADO OU OBRIGADO A PARTICIPAR.**

Endereço dos responsáveis pela pesquisa:

Pesquisador responsável: Prof. Dr. André Gustavo Pereira Andrade – E-mail: andreguto@yahoo.com.br

Jéssica da Silva Soares (aluna de Mestrado) – E-mail: jessicassef@gmail.com

Instituição: UFMG / Escola de Educação Física Fisioterapia e Terapia Ocupacional / BIOLAB - CENESP

Endereço: Av. Antônio Carlos, 6627

Bairro: Pampulha. CEP. 31270-901 Cidade: Belo Horizonte / MG.

Telefones p/contato: 3409-2360 / 9 8811-7530 (Contato: Jéssica da Silva Soares)

ATENÇÃO: Para informar ocorrências irregulares ou danosas durante a sua participação no estudo, dirija-se ao:

Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais:

Unidade Administrativa II, 2º andar, sala 2005, Campus Pampulha

Av. Antônio Carlos, 6627. Belo Horizonte / MG. CEP: 31270-901

Telefone: 3409-4592

_____ de _____ de 2018.

Assinatura do voluntário. (Rubricar as demais folhas)	Prof. Dr. André Gustavo Pereira Andrade (Rubricar as demais folhas)
--	--

ANEXO 1

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DA EMENDA

Título da Pesquisa: Análise da assimetria de torque no pedal de ciclistas em exercício de longa duração com Intensidade fixa

Pesquisador: André Gustavo Pereira de Andrade

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 84968018.1.0000.5149

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

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.974.795

Apresentação do Projeto:

A emenda ao projeto objetiva incluir no método "uma Intensidade de exercício correspondente a 60%, sendo essa inferior as outras duas já presentes no projeto (80% e 95%), para que o fenômeno da assimetria bilateral de força seja melhor compreendido em diferentes intensidades de exercício (baixa, moderada e alta)." Tal modificação foi feita, segundo os autores, após realização de um estudo piloto.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

O objetivo do presente estudo será verificar quais são as estratégias adotadas e consequentes mudanças nos níveis de AB de produção de torque e atividade eletromiográfica em resposta a três diferentes intensidades (60%, 80% e 95 % da potência máxima), em ciclistas amadores com distintos níveis de experiência durante protocolo de exercício até a fadiga. Comparando os níveis de AB entre os grupos em uma mesma intensidade e o comportamento da AB entre as intensidades dentro de um mesmo grupo.

Objetivo Secundário:

Comparar os níveis de AB entre as intensidades dentro de um mesmo grupo.

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad S/I 2005

Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901

UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE

Telefone: (31)3409-4592

E-mail: coep@prpq.ufmg.br

Continuação do Parecer: 2.074.795

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Não há modificação dos riscos e benefícios em relação ao projeto original.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Pesquisa relevante e pertinente ao corpo de conhecimento.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Todos os termos de apresentação obrigatória foram apresentados, com as modificações adequadas a emenda.

Recomendações:

Sou a favor, S.M.J., de aprovação do projeto.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Projeto aprovado

Considerações Finais a critério do CEP:

Tendo em vista a legislação vigente (Resolução CNS 466/12), o CEP-UFMG recomenda aos Pesquisadores: comunicar toda e qualquer alteração do projeto e do termo de consentimento via emenda na Plataforma Brasil, informar imediatamente qualquer evento adverso ocorrido durante o desenvolvimento da pesquisa (via documental encaminhada em papel), apresentar na forma de notificação relatórios parciais do andamento do mesmo a cada 06 (seis) meses e ao término da pesquisa encaminhar a este Comitê um sumário dos resultados do projeto (relatório final).

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_1213712_É1.pdf	18/09/2018 16:56:39		Acelto
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.pdf	13/09/2018 14:25:17	André Gustavo Perreira de Andrade	Acelto
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projeto_detalhado.pdf	13/09/2018 14:05:00	André Gustavo Perreira de Andrade	Acelto
Outros	849680181parecerassinado.pdf	24/04/2018 10:05:40	Vivian Resende	Acelto
Outros	849680181parecerassinado.pdf	24/04/2018 10:05:40	Vivian Resende	Acelto
Outros	849680181aprovacaassinada.pdf	24/04/2018	Vivian Resende	Acelto

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad S/1 2005
 Bairro: Unidade Administrativa II CEP: 31.270-901
 UF: MG Município: BELO HORIZONTE
 Telefone: (31)3409-4592 E-mail: coep@prpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



Continuação do Parecer: 2.974.795

Outros	849680181aprovacaoassinada.pdf	10:05:30	Vivian Resende	Acelto
Outros	849680181aprovacaoassinada.pdf	24/04/2018 10:05:30	Vivian Resende	Acelto
Outros	Carta_resposta.docx	08/04/2018 18:56:09	André Gustavo Pereira de Andrade	Acelto
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.docx	08/04/2018 18:55:29	André Gustavo Pereira de Andrade	Acelto
Folha de Rosto	folha_de_rosto.pdf	08/03/2018 21:49:19	André Gustavo Pereira de Andrade	Acelto
Outros	carta_de_encaminhamento.pdf	08/03/2018 21:42:40	André Gustavo Pereira de Andrade	Acelto
Declaração de Pesquisadores	termo_compromisso.pdf	08/03/2018 21:38:31	André Gustavo Pereira de Andrade	Acelto
Parecer Anterior	Departamento_parecer.pdf	08/03/2018 21:37:03	André Gustavo Pereira de Andrade	Acelto
Declaração de Instituição e Infraestrutura	carta_de_permissao.pdf	08/03/2018 21:34:27	André Gustavo Pereira de Andrade	Acelto
Cronograma	CRONOGRAMA.docx	08/03/2018 21:21:07	André Gustavo Pereira de Andrade	Acelto

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

BELO HORIZONTE, 22 de Outubro de 2018

Assinado por:

Eliane Cristina de Freitas Rocha
(Coordenador(a))

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad S/1 2005
Bairro: Unidade Administrativa II CEP: 31.270-901
UF: MG Município: BELO HORIZONTE
Telefone: (31)3409-4592 E-mail: coep@prpq.ufmg.br

ANEXO 2

Journal of Sports Sciences

TO BE OR NOT TO BE SYMMETRICAL IN CYCLING? THE ANSWER MAY DEPEND ON HOW DATA ARE ANALYZED.

--Manuscript Draft--

Full Title:	TO BE OR NOT TO BE SYMMETRICAL IN CYCLING? THE ANSWER MAY DEPEND ON HOW DATA ARE ANALYZED.
Manuscript Number:	RJSP-2020-0144
Article Type:	Original Manuscript
Keywords:	Torque; cyclists; fatigue; functional lateralization; lower extremity
Abstract:	<p>For the first time, we examined the effect of different submaximal intensities in cycling on the asymmetry of crank torque production, using functional analysis of variance (FANOVA). To perform the FANOVA, the whole curve is represented by a mathematical function, which spans the whole crank torque cycle and avoids the need to identify isolated points. The question that arises is whether FANOVA will be more sensitive in detecting asymmetries in the production of crank torque, compared to ANOVA. The peak torques and torque waves were compared between the preferred and non-preferred legs, and different submaximal intensities of 60%, 80%, and 95% of the maximal power output. ANOVA findings suggest that peak torque results in symmetrical torque output in cyclists. However, when a FANOVA is conducted, the pattern of torque applied to the crank is significantly asymmetric, which happens regardless of the cycling intensity. We conclude that pedaling asymmetry cannot be quantified solely by considering peak torques. FANOVA data analysis could be a beneficial alternative, as it allows for the identification of asymmetry and more accurately reflects the biomechanical movement pattern. A novel approach as describe here might be useful when combining kinetics assessment with other approaches like EMG and kinematics.</p>
Order of Authors:	<p>Jéssica da Silva Soares</p> <p>Felipe Pivetta Carpes</p> <p>Gislaine de Fátima Geraldo</p> <p>Fabíola Bertú Medeiros</p> <p>Marcos Roberto Kunzler</p> <p>Álvaro Sosa Machado</p> <p>Leopoldo Augusto Paolucci</p> <p>Andre Gustavo Pereira de Andrade</p>

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

1 **TO BE OR NOT TO BE SYMMETRICAL DURING CYCLING?**
2 **THE ANSWER MAY DEPEND ON HOW DATA ARE ANALYZED.**

3

4

5 Jéssica da Silva Sores¹, Felipe Pivetta Carpes², Gislaine de Fátima Geraldo¹,
6 Fabíola Bertú Medeiros³, Marcos Roberto Kunzler², Álvaro Sosa Machado²,
7 Leopoldo Augusto Paolucci¹, André Gustavo Pereira de Andrade^{1*}

8

9 ¹Biomechanics Laboratory, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo
10 Horizonte, MG, Brazil

11 ²Applied Neuromechanics Research Group, Universidade Federal do
12 Pampa, Urugaiana, RS, Brazil

13 ³Colegiado de Educação Física, Universidade Federal do Vale do São
14 Francisco (UNIVASF)

15

16 *Corresponding author

17 Jéssica da Silva Sores¹: jessicassef@gmail.com

18 Felipe Pivetta Carpes²: felipecarpes@gmail.com

19 Gislaine de Fátima Geraldo¹: gislainefgeraldo@gmail.com

20 Fabíola Bertú Medeiros¹: fabsbertu@yahoo.com.br

21 Marcos Roberto Kunzler²: mrkjoia@yahoo.com.br

22 Álvaro Sosa Machado²: alvaromachado2005@gmail.com

23 Leopoldo Augusto Paolucci¹: leobia2009@yahoo.com.br

24 André G. P. de Andrade¹: andreguto@yahoo.com.br

25

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

26 *Address all correspondence to:
27 André G. P. de Andrade¹, Ph.D.,
28 Professor of Biomechanics
29 ¹Biomechanics Laboratory, Federal University of Minas Gerais, 6627,
30 Pampulha, Belo Horizonte, 31270-901, Minas Gerais, Brazil
31 E-mail: andrequto@yahoo.com.br
32
33
34 Word count: 2394

35 Abstract

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

36
37 For the first time, we examined the effect of different submaximal intensities of 60%, 80%
38 and 95% of maximum power in cycling on the asymmetry of crank torque production,
39 using functional analysis of variance (FANOVA). To perform the FANOVA, the whole
40 curve is represented by a mathematical function, which spans the whole crank
41 torque cycle and avoids the need to identify isolated points (peak torque), as
42 required for traditional parametric analyses of variance (ANOVA). The question that
43 arises is whether FANOVA will be more sensitive in detecting asymmetries in the
44 production of crank torque, compared to ANOVA, at different intensities of the exercise.
45 To this end, we utilized cycling trials to exhaustion to record crank torque data.
46 The peak torques and torque waves were compared between the preferred and
47 non-preferred legs, and different submaximal intensities of 60%, 80%, and 95%
48 of the maximal power output. Our findings suggest that peak torque results in
49 symmetrical torque output in trained cyclists. However, when a functional analysis
50 (FANOVA) is conducted, the pattern of torque applied to the crank is significantly
51 asymmetric at peak torque, which happens regardless of the cycling intensity.
52 We conclude that pedaling asymmetry cannot be quantified solely by considering
53 peak torques. Although ANOVA is traditionally used in the analysis of asymmetry
54 in cycling, FANOVA data analysis could be a beneficial alternative, as it allows
55 for the identification of asymmetry in the whole cycle of pedaling, and more
56 accurately reflects the biomechanical movement pattern. A novel approach as
57 describe here might be useful when combining kinetics asymmetries assessment
58 with other approaches like EMG and kinematics.

59
60

61 **Keywords:** Torque; neuromuscular activation; cyclists; fatigue; functional
62 lateralization; lower extremity.

63

64 Funding Details

65 This work was supported by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal
66 de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

67

68

69

70

71