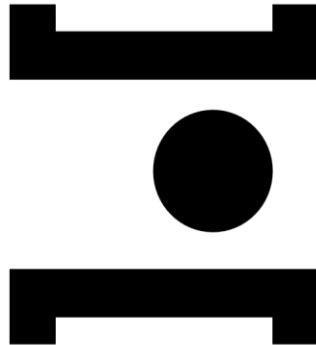


INSTITUTO POLITÉCNICO DE SANTARÉM
Escola Superior de Desporto de Rio Maior



**POLITÉCNICO
DE SANTARÉM**

**Dinâmica do Momento Angular: Parâmetro de controlo na
exploração de Padrões Motores na Bicicleta de Equilíbrio em
Crianças**

Dissertação

Mestrado em Atividade Física e Saúde

Mafalda Filipa dos Santos Bernardino

Orientação:

Professora Doutora Cristiana Isabel André Mercê

Professor Doutor Marco António Colaço Branco

Dezembro, 2024

Winners never quit & Quitters never win
Vencedores nunca desistem e desistentes nunca ganham
Vince Lombardi

Agradecimentos

É com imensa gratidão que finalizo esta dissertação, uma etapa exigente, porém agora finalizada um sentimento de dever cumprido e de realização pessoal e profissional. Gostaria de dedicar este momento para reconhecer aqueles que me apoiaram ao longo deste percurso.

Primeiramente gostaria de agradecer às pessoas mais importantes na minha vida, a minha mãe, o meu pai, a minha irmã e os meus avós. Obrigada por serem o meu porto de abrigo, um suporte incondicional, por todo o amor e carinho que oferecem. Acreditaram em mim e nas minhas capacidades, foram vocês que me incentivaram a dar este passo no meu percurso académico e por isso deram-me a força que precisava para nunca desistir. Sem vocês não estaria aqui hoje.

Tiago, obrigada pelo amor e carinho. Desde o primeiro dia que soube que tinha entrado em mestrado que estiveste ao meu lado e desde aí ajudaste-me a concluir esta etapa. Fizeste-me ver que nos momentos difíceis eu era capaz de superar.

Espero ter superado as expectativas e se sintam orgulhosos de mim e da minha jornada por isso dedico-vos este trabalho.

Esta dissertação nunca seria possível sem o apoio e auxílio dos meus orientadores que partilharam comigo esta etapa. Por isso agradeço à Professora Doutora Cristiana Mercê e ao Professor Doutor Marco Branco, pela orientação, paciência e motivação nesta etapa.

Professora Cristiana Mercê, especial agradecimento pela ajuda, entrega, dedicação conhecimento, oportunidade e companheirismo durante esta etapa. Foi uma das principais pessoas que me incentivou a entrar no mestrado e por isso agradeço-lhe imenso. Desde as recolhas em Almeirim até partilhar gabinete consigo tem sido uma experiência incrível. Um obrigada muito especial. E sabe uma coisa? A moça já entregou a dissertação!

Ao Professor Marco Branco obrigada por ser quem está abaixo de “Deus”, um guru de sabedoria, a sua ajuda tornou-se preciosa nesta etapa. Acreditou em mim e nas minhas capacidades dando esta oportunidade. Um obrigada especial.

Agradeço também ao Professor Doutor David Catela por todas as contribuições e ensinamentos.

As vossas sugestões, críticas construtivas e exigências foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Ambos são excelentes profissionais com qualidades que foram uma mais-valia para o meu sucesso. A vós o meu obrigada do fundo do coração.

A todas as crianças da Escola Básica Alto do Moinho em Alfragide, do Jardim de Infância do Bairro dos Arneiros nas Caldas da Rainha e da Associação Jardim de Infância de Ferrel que participaram nesta intervenção.

Agradeço também aos meus colegas e amigos, que tornaram este processo mais leve e inspirador. O apoio mútuo foram essenciais para que eu pudesse seguir em frente.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste projeto. Cada palavra de incentivo e cada momento de apoio foram cruciais para a conclusão desta jornada.

Muito obrigado a todos do fundo do coração!

Dinâmica do Momento Angular: Parâmetro de controlo na exploração de Padrões Motores na Bicicleta de Equilíbrio em Crianças

Resumo

A bicicleta reflete a cultura humana e a sua utilização exige equilíbrio e manutenção da estabilidade. A criança e a bicicleta formam um sistema único, o qual procura manter a sua estabilidade através da rotação das rodas que atuam como giroscópios, em constante interação com os constrangimentos da tarefa, organismo e envolvimento. A massa distribuída em cada roda não é igual, assim, o primeiro estudo desta dissertação analisou a proporção de massa entre as rodas dianteira e traseira do sistema criança-bicicleta. A amostra incluiu 18 crianças com uma média de $4,89 \pm 0,35$ anos, para as quais o centro de gravidade (CG) foi calculado através do método de coordenadas, e o CG da bicicleta através do método de equilíbrio. A roda traseira apresentou uma proporção de 78,8% da massa total e a dianteira 21,3%. Considerando que a aprendizagem de andar de bicicleta resulta da interação dinâmica entre os vários constrangimentos como a massa da criança (organismo), massa e raio da roda da bicicleta (tarefa), a distribuição de massa das rodas no sistema criança-bicicleta deve ser considerada para análises posteriores da estabilidade. Neste sentido, e considerando igualmente que esta aprendizagem pode ser facilitada através de mudanças nos parâmetros de controlo, o segundo estudo investigou se o momento angular (MA) da bicicleta é um parâmetro de controlo para os padrões de ciclar na bicicleta de equilíbrio (BE). Este estudo incluiu recolhas transversais durante a aplicação de um programa de aprendizagem de ciclar. Participaram 25 crianças com uma média de $5,16 \pm 0,89$ anos, as quais foram convidadas a usar livremente a BE, antes e depois da intervenção de 6 sessões com a BE. Os dados foram recolhidos através de vídeo e posteriormente categorizados para permitir a identificação dos padrões de ciclar. Adicionalmente, foram recolhidos dados de velocidade angular através de um sensor inercial fixado na roda da bicicleta, permitindo o cálculo posterior do MA. Os resultados evidenciaram que, à medida que o MA aumenta, as crianças

tendem a transitar entre os padrões de ciclar. Com MA mais baixo, o padrão preferido consistiu em caminhar. A partir de $0,53 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$, a maioria das crianças transitou para correr. E, a partir de $1,1162 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$, a maioria das crianças transitou novamente para o padrão de planar. Com base nestes resultados, propomos que o MA é um parâmetro de controlo para a BE, sendo a velocidade linear uma expressão dele. Em conclusão, as características específicas da bicicleta e da criança influenciam o momento angular e, conseqüentemente, a transição entre os padrões. Todos estes aspetos devem ser considerados na promoção da aprendizagem de ciclar.

Palavras-chave: Bicicleta; sistemas dinâmicos, constrangimentos, giroscópio, momento angular, aprendizagem

Angular Momentum Dynamics: Control Parameter in the Exploration of Motor Patterns on Children's Balance Bikes

Abstract

The bicycle reflects human culture, and its use requires balance and maintenance of stability. The child and the bicycle form a unique system that seeks to maintain its stability through the rotation of the wheels, which act as gyroscopes, constantly interacting with the constraints of the task, the organism, and the environment. The mass distributed in each wheel is not equal; thus, the first study of this dissertation analyzed the mass ratio between the front and rear wheels of the child-bicycle system. The sample included 18 children with an average age of 4.89 ± 0.35 years, for whom the center of gravity (CG) was calculated using the coordinate method, and the CG of the bicycle was calculated using the balance method. The rear wheel accounted for 78.8% of the total mass, while the front wheel accounted for 21.3%. Considering that learning to ride a bicycle results from the dynamic interaction between various constraints, such as the child's mass (organism), and the mass and radius of the bicycle wheel (task), the mass distribution of the wheels in the child-bicycle system should be considered for further analyses of stability. In this regard, and also considering that this learning can be facilitated by changes in control parameters, the second study investigated whether the angular momentum (AM) of the bicycle is a control parameter for cycling patterns on the balance bike (BB). This study included cross-sectional data collection during the implementation of a cycling learning program. Twenty-five children with an average age of 5.16 ± 0.89 years participated, who were invited to freely use the BB before and after a 6-session intervention with the BB. Data were collected through video recording and subsequently categorized to identify cycling patterns. Additionally, angular velocity data were collected using an inertial sensor fixed to the bicycle wheel, allowing for subsequent calculation of the AM. The results showed that as the AM increases, children tend to transition between cycling patterns. With lower AM, the preferred pattern was walking. Starting at $0.53 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$, most children

transitioned to running. And starting at $1.1162 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$, most children transitioned back to a coasting pattern. Based on these results, we propose that AM is a control parameter for the BB, with linear velocity being an expression of it. In conclusion, the specific characteristics of the bicycle and the child influence the angular momentum and, consequently, the transition between patterns. All these aspects should be considered in promoting cycling learning.

Key-words: Bicycle; dynamic systems, constraints, gyroscope, angular momentum, learning.

Índice

Agradecimentos	iv
Resumo	vi
Abstract	viii
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tabelas.....	xii
Acrónimos/Siglas	xii
Capítulo I.....	1
1.1. Introdução	2
1.2. Síntese e Apresentação do Problema.....	4
1.3. Objetivos	5
1.4. Organização do Trabalho.....	5
Capítulo II.....	6
2.1. Enquadramento.....	7
2.2. Metodologia.....	10
2.2.1. Amostra.....	10
2.2.2. Procedimentos e Protocolos	11
2.2.3. Tratamento de Dados e Análise Estatística	12
2.3. Resultados	17
2.4. Discussão	20
2.5. Conclusão	21
Capítulo III.....	22
3.1. Enquadramento.....	23
3.2. Metodologia.....	26
3.2.1. Amostra.....	26
3.2.2. Programa L2Cycle	26

3.2.3.	Procedimentos e Protocolos	27
3.2.4.	Tratamento de Dados e Análise Estatística	28
3.3.	Resultados	30
3.4.	Discussão	35
3.5.	Conclusão	37
Capítulo IV	38
4.1.	Discussão Geral.....	39
4.2.	Recomendações para a prática profissional	40
4.3.	Recomendações para investigação futura	41
Referências Bibliográficas	43

Índice de Figuras

Figura 1.	Pontos anatómicos dos led's colocados na criança	16
Figura 2.	Pontos gráficos da bicicleta, incluindo o ponto do CG	16
Figura 3.	Representação gráfica dos pontos, respetivos CGs e os vetores de projeção do CG individual (círculo preto superior), da bicicleta (círculo preto inferior) e do sistema bicicleta/criança (losango amarelo).....	17
Figura 4.	Representação gráfica dos pontos, respetivos CGs e os vetores de projeção do CG individual (círculo preto superior), da bicicleta (círculo preto inferior) e do sistema bicicleta/criança (losango amarelo) em diferentes crianças	18
Figura 5.	Representação gráfica da aplicação do filtro e respetiva curva nos dados de velocidade angular.....	28
Figura 6.	Valores de momento angular por padrões motores na BE obtidos na Observação 1. A cor das chavetas corresponde às comparações com diferenças significativas de um padrão com os outros. Nota: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,02$; *** $p \leq 0,01$	31
Figura 7.	Valores de momento angular por padrões motores na BE obtidos na Observação 2. A cor das chavetas corresponde às comparações com diferenças	

significativas de um padrão com os outros. Nota: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,02$; *** $p \leq 0,01$.

.....	32
Figura 8. Comportamentos por Momento Angular da Criança BCA na O1.	33
Figura 9. Comportamentos por Momento Angular da Criança BCA na O2.	33
Figura 10. Frequência relativa dos padrões de ciclar com base nos momentos angulares.....	34
Figura 11. A) Frequência relativa dos padrões de ciclar com base nos momentos angulares. B) Frequência relativa dos padrões de ciclar com base na Velocidade linear da bicicleta (adaptado de (Mercê et al., 2022))......	36

Índice de Tabelas

Tabela 1. Apresentação de caracterização da amostra	10
Tabela 2. Apresentação dos pontos anatómicos de delimitação dos segmentos corporais.....	12
Tabela 3. Proporção em percentagem da massa corporal da criança sobre a roda dianteira e traseira.....	19
Tabela 4. Estatística descritiva dos momentos angulares por comportamentos na BE.	30

Acrónimos/Siglas

ABE	– Andar na Bicicleta de Equilíbrio
AUBE	– Apoio Único na Bicicleta de Equilíbrio
BE	– Bicicleta de Equilíbrio
CBE	– Correr na Bicicleta de Equilíbrio
CG	– Centro de Gravidade
DP	– Desvio-Padrão
M	– Média
MA	– Momento Angular
Md	– Mediana
MI	– Momento de Inércia
Máx	– Máximo
Mín	– Mínimo
N	– Amostra
O1	– 1.º Observação

O2 – 2.º Observação

p – Significância

PBE – Planar na Bicicleta de Equilíbrio

PCBE – Pé-Coxinho na Bicicleta de Equilíbrio

r – *Rosenthal*

SBE – Saltar na Bicicleta de Equilíbrio

TBE – Trotear na Bicicleta de Equilíbrio

W – *Kendall's W*

Capítulo **I**

Introdução Geral

1.1. Introdução

O estudo do desenvolvimento motor tem como objetivo descrever, explicar e, quando possível, prever as mudanças observáveis no comportamento motor ao longo da vida. A aprendizagem é considerada um fator crucial nesse processo de desenvolvimento (Cordovil & Barreiros, 2020; Malina et al., 2004). Entende-se por aprendizagem o conjunto de adaptações nas respostas motoras, resultantes da prática e que se mantêm ao longo do tempo, envolvendo a participação de estruturas superiores na tomada de decisão (Cordovil & Barreiros, 2020). O desenvolvimento motor da criança é entendido como um processo evolutivo sequencial que podem ser identificadas fases (ou estádios ou níveis) de comportamento estável (Cordovil & Barreiros, 2020; Eckert, 1994). Nesta dissertação o foco cai sobre a 2ª infância, que ocorre entre os dois e os seis anos de idade. É nesta fase que são explorados os movimentos fundamentais, que se caracterizam por ser habilidades motoras comuns, com padrões de movimentos específicos, característicos da nossa espécie (ex.: andar, correr, saltar, lançar, agarrar e pontapear) (Cordovil & Barreiros, 2020). Estes movimentos servirão de base para habilidades desportivas especializadas características das diferentes atividades desportivas, sendo por isso cruciais para o desenvolvimento e aprendizagem motores ao longo da vida. Mais recentemente, Hultheen et al. (2018) propuseram a red denominação das habilidades motoras “fundamentais” por “fundacionais”. Os autores defendem que estas habilidades representam não só a base de todas as habilidades especializadas, mas que a sua aquisição pode contribuir igualmente para a afiliação e manutenção em trajetórias de vida positivas, ativas e saudáveis. Segundo este modelo as habilidades motoras fundacionais são influenciadas pelo contexto social e cultural em que a criança está embebida, pelo que além das habilidades motoras fundamentais anteriormente reconhecidas, foram incluídas outras como o andar de bicicleta, doravante denominado por ciclar, ou o exercício de agachamento. Desta forma e destacando os diversos benefícios físicos, motores e psicológicos do ciclar (Karabaic, 2016; Orsini & O’Brien, 2006; Zeuwts et al., 2020) e da prática de atividade física e/ou exercício físico durante

a infância, quanto mais cedo as crianças adquirirem e explorarem estas habilidades motoras fundacionais, naturalmente se mostram mais predispostas, afiliando-se e mantendo trajetórias positivas, ativas e saudáveis ao longo da vida (Hulteen et al., 2018). Logo, aprender a ciclar cedo, é um benefício a curto, médio e longo prazo, uma vez que a adesão leva a que possam usufruir destes hábitos na vida adulta. A aquisição deste marco motor é influenciada por vários constrangimentos, sendo a manipulação dos mesmos cruciais para uma aprendizagem mais eficiente (Mercê, Davids, et al., 2023). No entanto, andar de bicicleta pressupõe que a criança tenha de saber lidar com as diferentes propriedades mecânicas que estas lhes transmitem, nomeadamente a instabilidade. Desta forma, é necessário averiguar de que modo a criança pode lidar com esses fatores e de que forma pode na bicicleta aumentar a sua estabilidade. Compreender de que forma a sua posição na bicicleta promove a interação dentro do sistema criança/bicicleta, pode vir a contribuir para o aprofundamento do conhecimento e desenvolver estratégias que permitam potenciar a criança a explorar o movimento.

A aprendizagem de ciclar pode ser realizada através de várias bicicletas de aprendizagem, entre as quais a bicicleta com uma ou duas rodas de treino laterais, a bicicleta *tandem* (i.e., para duas pessoas em simultâneo), a bicicleta de equilíbrio (BE, i.e., sem pedaleira nem rodas laterais de treino), ou até utilizando simplesmente a bicicleta tradicional com pedais e sem rodas extra (Mercê, Davids, et al., 2023). A literatura recente tem destacado a BE como a melhor opção para a aprendizagem de ciclar autónomo em crianças. Uma das possíveis razões apontadas para tal consiste no facto da BE propiciar às crianças a exploração do equilíbrio desde o primeiro contato, levando-as a explorar diversos padrões de ciclar na BE, como andar, correr, saltar e planar (Mercê et al., 2022).

Um estudo recente defende que a velocidade linear do sistema conjunto bicicleta-criança é parâmetro de controlo para os padrões de ciclar na BE (Mercê et al., 2022), porém esta variável é resultado de muitas outras que afetam a estabilidade do conjunto, podendo não ser o real parâmetro de controlo.

Assim, a investigação sobre os parâmetros de controlo, como a velocidade e o momento angular, é vital para otimizar o processo de

aprendizagem da habilidade de andar de bicicleta. Esse raciocínio pode ajudar a criar condições de prática que promovam o desenvolvimento motor das crianças, permitindo-lhes uma transição mais eficaz para o uso da bicicleta tradicional.

1.2. Síntese e Apresentação do Problema

A aprendizagem de habilidades motoras é influenciada pelos vários constrangimentos, resultando da interação constante entre o aprendiz e o ambiente em que o mesmo se insere e interage (Chow et al., 2021; Kelso, 2013; Newell, 1986). A aprendizagem de ciclar pode ser estudada à luz da teoria dos sistemas dinâmicos, a qual defende que a aprendizagem pode ser facilitada através da identificação e manipulação dos parâmetros de controlo (Kelso, 2013).

A literatura identifica a velocidade linear do sistema bicicleta-criança como parâmetro de controlo para a exploração de padrões de ciclar na BE, os quais sendo mais explorados, podem por sua vez, promover uma aprendizagem de ciclar mais eficiente (Mercê et al., 2022). Porém, este poderá não ser o real parâmetro de controlo, uma vez que a “velocidade linear” não explica porque se consegue ter estabilidade na bicicleta quando se pedala sobre rolos e, além disso, não considera aspetos específicos da bicicleta, como o raio da roda, ou do conjunto do sistema, como a sua massa. Torna-se pertinente investigar em maior profundidade que parâmetro de controlo promove a transição entre os padrões de ciclar, podendo o mesmo consistir em variáveis como o momento angular, cuja variável tem em consideração a velocidade angular, o raio da roda e a massa do sistema criança/bicicleta.

1.3. Objetivos

O objetivo geral desta dissertação consiste em investigar os possíveis parâmetros que podem facilitar a aprendizagem do ciclar.

Para tal, considerando que a estabilidade do sistema criança-bicicleta é influenciada pela massa total do sistema e que esta não se distribui de forma equitativa pelas rodas, o primeiro estudo pretende investigar qual é a proporção de massa do conjunto bicicleta-criança distribuída pelas rodas dianteira e traseira.

Posteriormente e, com base nos resultados do desse estudo, o segundo estudo tem como objetivo investigar se o momento angular das rodas da bicicleta, é parâmetro de controlo para os diferentes padrões de ciclar na BE.

1.4. Organização do Trabalho

A dissertação encontra-se dividida em quatro capítulos de forma a seguir o modelo anglo-saxónico. Começa com a introdução geral onde se aborda o tema, a problemática e os objetivos. O capítulo II consiste no primeiro estudo, estudo exploratório, predominantemente biomecânico, que permitirá verificar a distribuição da massa do sistema pelas rodas da bicicleta. O capítulo III, segundo estudo, consiste num estudo descritivo de carácter associativo que pretende investigar se o momento angular é um parâmetro de controlo dos padrões de ciclar na BE. Por fim, o capítulo IV apresenta a discussão e conclusões gerais.

Capítulo **II**

Aprender a ciclar: Explorar a proporção de massa do conjunto criança-bicicleta para a roda dianteira e traseira

Estudo apresentado sobre a forma de comunicação oral:

Bernardino, M., Mercê, C., Catela, D. & Branco, M. (2024, setembro 09-10). *Learning to Cycle: Exploring Mass Proportion of the Child-Bicycle System*. [Comunicação Oral]. *Cycling & Society Annual Symposium*, Porto, Portugal.

Bernardino, M., Mercê, C. & Branco, M. (2024, novembro 15-16). Aprender a Ciclar: Explorar a Proporção de Massa do Conjunto Criança-Bicicleta para a Roda Dianteira e Traseira. [Comunicação Oral]. XIX Seminário de Desenvolvimento Motor da Criança, Lisboa, Portugal.

Publicação:

Bernardino, M., Mercê, C. & Branco, M. (2024). Aprender a Ciclar: Explorar a Proporção de Massa do Conjunto Criança-Bicicleta para a Roda Dianteira e Traseira. In A. Pombo, C. Rocha & C. Luz (Eds). *Estudos de Desenvolvimento Motor da Criança XVII* (pp. 157–162). Escola Superior de Educação – Instituto Politécnico de Lisboa. ISBN 978-989-8912-24-

2.1. Enquadramento

Andar de bicicleta foi recentemente reconhecida como uma habilidade fundacional (Hulteen et al., 2018) e como um importante marco motor na vida das crianças devido aos seus vários benefícios (Zeuwts et al., 2020). Além desses benefícios relacionados com a saúde, andar de bicicleta traz benefícios sociais para as crianças, permitindo-lhes uma maior exploração do envolvimento e a criação de novos amigos (Karabaic, 2016; Orsini & O'Brien, 2006).

Para andar de bicicleta, é necessário aprender uma nova forma de se movimentar, que requer pedalar e controlar o equilíbrio simultaneamente num novo instrumento (a bicicleta) (Mercê et al., 2022). Estudos recentes evidenciaram que fatores como a velocidade linear da bicicleta pode ser crucial para a emergência de novos padrões de locomoção na bicicleta de equilíbrio (BE) (Mercê et al., 2022), sendo que uma maior velocidade está associada à exploração de mais padrões e de padrões com maiores fases de voo, i.e., sem o apoio dos pés no solo por parte das crianças. Não obstante, a velocidade linear é apenas um dos vários fatores que contribui para a estabilidade do sistema criança-bicicleta.

A estabilidade é definida mecanicamente como a resistência à aceleração linear e angular, ou a resistência à rutura do equilíbrio. Esta capacidade de manter o equilíbrio depende de vários fatores, aumentando com o aumento da massa, do atrito, da área da base de sustentação, e com a redução da altura vertical do centro de gravidade (CG) (Hall, 2022). No entanto, poucos estudos indicam que fatores permitem a melhoria da estabilidade durante o ciclar, entre os quais a velocidade linear da bicicleta (Mercê et al., 2022).

A estabilidade do conjunto da criança-bicicleta é influenciada pelas características deste instrumento, nomeadamente o facto de ele se deslocar pela rotação das rodas, as quais funcionam como giroscópios. O giroscópio, independentemente da posição em que é colocado, mantém a estabilidade, principalmente devido à conservação do momento angular (MA) e do momento de inércia (MI). A conservação do momento angular, afirma que um objeto em rotação tende a permanecer constante o seu eixo de rotação, a menos que uma

força externa lhe seja aplicada para o alterar (Hall, 2022). O momento angular consiste no produto do momento de inércia pela velocidade angular. Por sua vez, o momento de inércia é uma propriedade inercial dos corpos em rotação que representa a resistência à aceleração angular, baseia-se tanto na massa quanto na distância em que a massa está distribuída do eixo de rotação. Quanto maior for o momento de inércia de um objeto em rotação (Hall, 2022), mais resistente ele será a mudanças de velocidade angular.

A inércia é a tendência de um corpo resistir à aceleração. Embora a inércia em si seja um conceito e não uma quantidade que pode ser medida em unidades, a inércia de um corpo é diretamente proporcional à sua massa. De acordo com a segunda lei de Newton, quanto maior for a massa, maior será sua resistência à aceleração linear. Portanto, a massa é a característica inercial de um corpo para considerações relativas a movimento (Hall, 2022). Sendo assim, no giroscópio, o momento de inércia está intimamente relacionado com a massa e distribuição da mesma em torno do eixo de rotação.

Quando um giroscópio está em rotação, o seu momento angular atua como uma "força de estabilização". Se for aplicada alguma força para inclinar ou perturbar o giroscópio enquanto ele está em rotação, o momento angular resistirá a essa mudança e exercerá uma nova força com sentido oposto que tentará manter o giroscópio na sua posição original. Essencialmente, é o momento angular em conjunto com o momento de inércia do giroscópio que permite que este permaneça em "*standing*", ou seja, estável. Qualquer tentativa de desviar o giroscópio da sua orientação original resultará numa força de precessão que age perpendicularmente à direção da força aplicada, o que ajuda a corrigir a orientação do giroscópio e mantê-lo na sua posição.

A bicicleta move-se no espaço através da rotação das rodas, as quais funcionam como giroscópios. É por essa razão, nomeadamente pelo momento angular produzido nas rodas da bicicleta, que quando este instrumento é lançado de uma descida sem ninguém a pedalar, se mantém em movimento e em equilíbrio. São os momentos angulares, de ambas as rodas, que promovem a translação e conseqüentemente a velocidade linear da bicicleta. Os momentos angulares contribuem assim para a mudança de estado da bicicleta e conseqüente aumento da sua velocidade linear, variável esta, que foi

previamente identificada enquanto parâmetro de controlo (Mercê et al., 2022). No entanto, esta variável enquanto parâmetro de controlo, não explica a capacidade de estabilização do sistema bicicleta-ciclista, quando esta está assente em rolos. Nesta situação, o sistema não apresenta velocidade linear, mas o utilizador sente maior estabilidade à medida que as rodas giram mais rápido. Em síntese, a combinação do momento angular das rodas da bicicleta com o momento de inércia do conjunto, contribui para a resistência do giroscópio às alterações na sua orientação, proporcionando estabilidade ao sistema criança-bicicleta.

Para calcular o momento angular de cada roda da bicicleta, é necessário considerar a massa total do sistema e como ela se distribui entre as rodas. A massa de um corpo é a quantidade de matéria que ele contém. Cada corpo possui um ponto único onde sua massa está igualmente distribuída em todas as direções, conhecido como centro de massa ou centroide de massa. Quando analisamos corpos sujeitos à força gravitacional, esse ponto é chamado de centro de gravidade (CG), que é o ponto onde o corpo está equilibrado em todas as direções, ou onde a soma dos torques produzidos pelos pesos dos segmentos corporais é zero (Hall, 2022).

A localização do CG pode ser estimada por diferentes métodos, sendo o método do equilíbrio um dos mais práticos para determinar o centro de gravidade de objetos. Este método envolve suspender o objeto em equilíbrio em diferentes planos e observar a interseção das posições onde ele permanece estável, indicando a localização do CG (Hall, 2022).

Outra opção para estimar a localização do CG é o método segmentar. Este procedimento baseia-se no conceito de que o corpo é composto por segmentos individuais, cada um com seu próprio CG (sistema de corpos rígidos). A localização do CG total do corpo resulta da combinação das localizações dos CGs segmentares. Além disso, alguns segmentos corporais são mais pesados, ou seja, têm mais massa e, portanto, a sua influência na localização do CG total é maior. Quando somamos os produtos da localização do CG de cada segmento pela sua massa e dividimos pela soma das massas de todos os segmentos (massa corporal total), obtemos a localização do CG total do corpo (Hall, 2022).

Reconhecendo que não se conhece qual a distribuição da massa pelas duas rodas da bicicleta e, que essa informação é necessária para o cálculo dos momentos angulares das mesmas. O presente estudo teve como objetivo investigar qual é a proporção de massa do conjunto bicicleta-criança distribuída pelas rodas dianteira e traseira, o que em estudos futuros, poderá contribuir para uma maior e melhor compreensão da estabilidade do sistema criança-bicicleta.

2.2. Metodologia

2.2.1. Amostra

Para este estudo foram incluídos 18 participantes (Tabela 1), 6 do sexo feminino e 12 do sexo masculino, com as idades compreendidas entre os 4 e 6 anos (1 criança de 4 anos, 15 crianças de 5 anos, 1 criança de 6 anos, média de $4,89 \pm 0,35$ anos) de um jardim de infância do concelho de Peniche.

Tabela 1. Apresentação de caracterização da amostra

Código	Sexo	Idade	Massa Corporal da Criança
C01	Feminino	5 anos	23,7 kg
C02	Feminino	5 anos	18 kg
C03	Feminino	5 anos	19,5 kg
C04	Masculino	5 anos	20,4 kg
C05	Masculino	5 anos	29,2 kg
C06	Masculino	5 anos	19,4 kg
C07	Masculino	5 anos	20,1 kg
C08	Masculino	5 anos	21,9 kg
C09	Masculino	4 anos	19,1 kg
C10	Masculino	5 anos	17,5 kg
C11	Feminino	5 anos	22,2 kg
C12	Feminino	5 anos	20,9 kg
C13	Masculino	5 anos	24,7 kg

C14	Feminino	5 anos	15,6 kg
C15	Masculino	5 anos	22,7 kg
C16	Masculino	6 anos	17,1 kg
C17	Masculino	5 anos	18,4 kg
C18	Masculino	5 anos	19,6 kg

2.2.2. Procedimentos e Protocolos

Para estimar o CG da bicicleta, foi utilizado o método do equilíbrio. Optou-se por este método porque a bicicleta, sendo um corpo rígido que não altera sua forma durante a avaliação, não requer a separação em peças, permitindo a análise através de um segmento único. O método do equilíbrio emprega um fulcro para determinar a localização do ponto de equilíbrio do objeto nos três diferentes planos (Hall, 2022). Como o CG é o ponto ao redor do qual a massa de um corpo está igualmente distribuída, ele também é o ponto ao redor do qual o corpo está equilibrado em todas as direções (Hall, 2022). Desta forma, a bicicleta foi equilibrada sobre o mesmo fulcro de acordo com os diferentes eixos, tirando-se fotografias em todas as posições de equilíbrio e, posteriormente, estimando-se a interseção das posições para identificar o CG.

Para estimar o centro de gravidade (CG) da criança em cima da bicicleta, foi utilizado o método das coordenadas através de videografia (Hall, 2022). Para permitir a análise dos vídeos, antes da recolha, foi utilizada e filmada um volume de calibração que envolvia o espaço onde seriam colocadas a bicicleta e a criança. Para cumprir o método das coordenadas, foram colocados marcadores *led* em pontos anatómicos específicos da criança (ver Tabela 2), permitindo a definição dos segmentos corporais. Após a colocação dos *leds*, a criança foi convidada a subir na bicicleta e a manter-se em equilíbrio por alguns segundos, durante os quais foi feita a recolha de vídeo. As recolhas de vídeo foram realizadas com câmara (Casio, modelo Exilim HS) posicionada lateralmente à bicicleta, com uma velocidade de captura de 240 Hz.

Para permitir o cálculo da distribuição da massa pelas rodas da bicicleta, a criança foi pesada previamente e, durante a recolha, a bicicleta foi posicionada

com cada uma das rodas sobre uma balança, registrando-se o valor de massa de ambas as balanças durante a posição de equilíbrio. Note-se que, antes da recolha, a calibração das balanças foi confirmada através da medição da massa de um *halter* de 10 kg (Tristar, modelo WG-2424; SilverCrest, modelo SPWG 180 F6).

Tabela 2. Apresentação dos pontos anatómicos de delimitação dos segmentos corporais

Nome do segmento	Ponto Anatómico Proximal	Ponto Anatómico Distal
Mão	Apófise Estiloide do Cúbito	3.º Metacarpo
Antebraço	Côndilo Lateral do Úmero	Apófise Estiloide do Cúbito
Braço	Acrómio	Côndilo Lateral do Úmero
Pé	Maléolo Lateral	5.º Metatarso
Perna	Côndilo Lateral do Fémur	Maléolo Lateral
Coxa	Grande Trocânter	Côndilo Lateral do Fémur
Cabeça	Vértex	Acrómio
Tronco	Grande Trocânter	Acrómio

2.2.3. Tratamento de Dados e Análise Estatística

Os vídeos de cada criança foram analisados com o *software Kinovea* versão 0.9.5 (Charmant, 2024), no qual foram marcados os pontos anatómicos através dos *led's* durante 5 *frames* para analisar a posição das crianças na bicicleta. A calibração do espaço bidimensional com as respetivas coordenadas de cada ponto foram exportadas para *xml* e importadas para ambiente *Matlab* versão 9.13.0 (The MathWorks, 2022) através de uma rotina customizada.

Também no *Matlab* foram lidas as características de massa corporal da criança e da bicicleta e foram colocadas em gráfico as representações das coordenadas bidimensionais. Seguidamente, foi calculado o CG de cada

segmento segundo as equações descritas para o método das coordenadas de forma a determinar as coordenadas X_{cg} e Y_{cg} do centro do segmento (Robertson et al., 2014):

Equação 1. Algoritmo de determinação das coordenadas X e Y do centro de gravidade do segmento

$$X_{cg} = x_{proximal} + R_{proximal} (x_{distal} - x_{proximal})$$

$$Y_{cg} = y_{proximal} + R_{proximal} (y_{distal} - y_{proximal})$$

Após os cálculos para todos os segmentos foram usadas as seguintes equações para o cálculo do CG do conjunto de todos os segmentos (Hall, 2022):

Equação 2. Algoritmo de determinação das coordenadas X e Y do centro de gravidade total

$$X_{cg} = \Sigma(x_s)(m_s) / \Sigma m_s$$

$$Y_{cg} = \Sigma(y_s)(m_s) / \Sigma m_s$$

Nesta equação X_{cg} e Y_{cg} consistem nas coordenadas do CG corporal total, x_s e y_s nas coordenadas do CG dos segmentos individuais e m_s na massa dos segmentos individuais. Assim, a coordenada x da localização do CG de cada segmento é identificada e multiplicada pela massa daquele segmento respetivo. Os produtos $(x_s)(m_s)$ para todos os segmentos corporais são somados e subsequentemente divididos pela massa corporal total para fornecer a coordenada x da localização do CG corporal total (Hall, 2022). Utilizou-se a tabela de *Dempster* (Robertson et al., 2014) para as características individuais dos segmentos assumindo-se a simetria.

Para melhor compreender a localização do CG do sistema criança/bicicleta, foi representado em gráfico todos os pontos de cada segmento e da bicicleta, a respetiva localização do CG de cada segmento e do corpo e, finalmente, a representação da proporção da massa em cada roda.

Esse cálculo das proporções tem por base as seguintes equações:

1. Coordenadas do centro da roda dianteira (CRD_x , CRD_y):

Equação 3. Determinação das coordenadas X e Y do eixo da roda dianteira

$$CRD_x = B2_x$$

$$CRD_y = B2_y$$

Onde B2 corresponde ao ponto led colocado no eixo da roda dianteira.

2. Coordenadas do centro da roda traseira (CRT_x , CRT_y):

Equação 4. Determinação das coordenadas X e Y do eixo da roda traseira

$$CRT_x = \frac{B6_x + B7_x}{2}$$

$$CRT_y = \frac{B6_y + B7_y}{2}$$

Onde B6 e B7 são, respetivamente, o ponto mais anterior e mais posterior da roda traseira.

3. Distância total entre as rodas (D):

Equação 5. Algoritmo de determinação da distância total entre os eixos das rodas

$$D = \sqrt{(CRT_x - CRD_x)^2 + (CRT_y - CRD_y)^2}$$

4. Distância do centro de gravidade combinado criança/bicicleta até à roda dianteira ($d_{dianteira}$):

Equação 6. Algoritmo de determinação da distância do centro de gravidade combinado até à roda dianteira

$$d_{dianteira} = \sqrt{(CG_{combinado_X} - CRD_x)^2 + (CG_{combinado_Y} - CRD_y)^2}$$

5. Distância do centro de gravidade combinado criança/bicicleta até à roda traseira ($d_{traseira}$):

Equação 7. Algoritmo de determinação da distância do centro de gravidade combinado até à roda traseira

$$d_{traseira} = D - d_{dianteira}$$

6. Proporção da massa suportada pela roda dianteira ($P_{dianteira}$):

Equação 8. Algoritmo de determinação da proporção da massa suportada pela roda dianteira

$$P_{dianteira} = \frac{d_{traseira}}{D}$$

7. Proporção da massa suportada pela roda traseira ($P_{traseira}$):

Equação 9. Algoritmo de determinação da proporção da massa suportada pela roda traseira

$$P_{traseira} = \frac{d_{dianteira}}{D}$$

A figura 1 e 2, mostram a identificação dos pontos na criança e na bicicleta. A definição das variáveis são as seguintes:

- $B2_x, B2_y$ são as coordenadas x e y do ponto B2;
- $B6_x, B6_y$ são as coordenadas x e y do ponto B6;
- $B7_x, B7_y$ são as coordenadas x e y do ponto B7;
- $CG_{combinado_x}, CG_{combinado_y}$ são coordenadas x e y do centro de gravidade combinado.

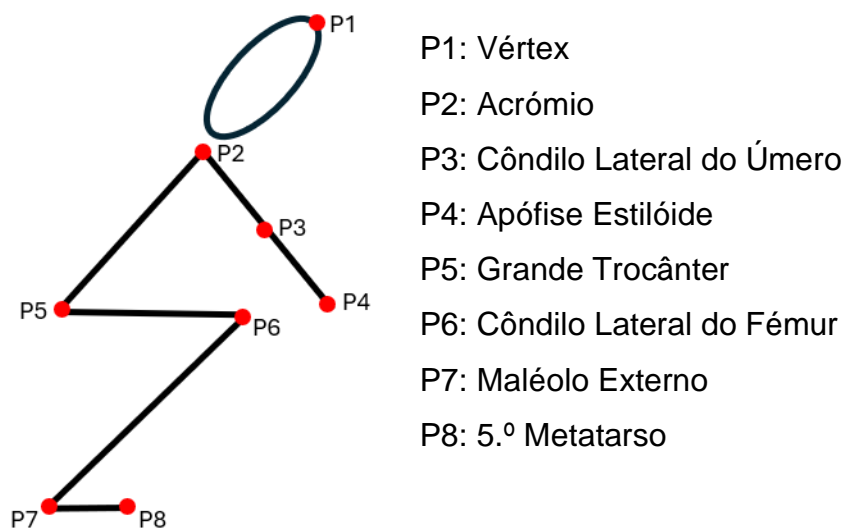


Figura 1. Pontos anatômicos dos led's colocados na criança

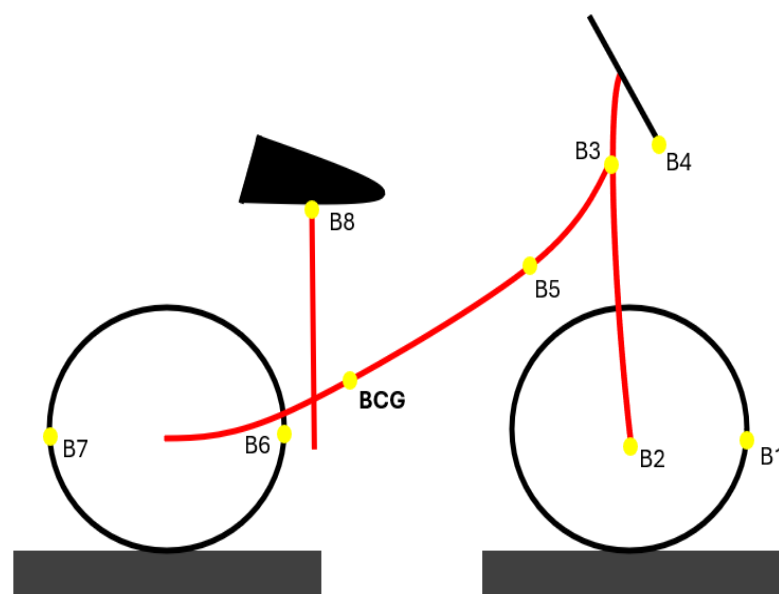


Figura 2. Pontos gráficos da bicicleta, incluindo o ponto do CG

Após os cálculos, foram colocados em gráfico e extraída a proporção de cada criança com as suas posições. Na figura 3 pode ser visualizado o produto final dos cálculos realizados em *Matlab*.

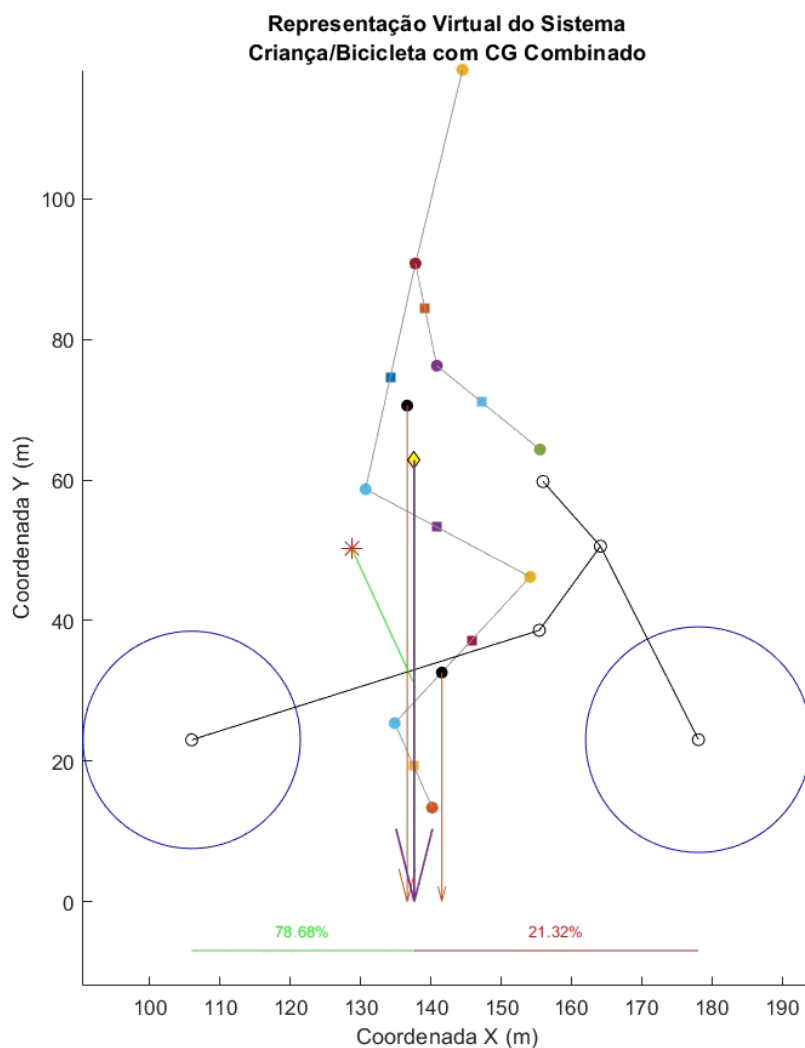


Figura 3. Representação gráfica dos pontos, respectivos CGs e os vetores de projeção do CG individual (círculo preto superior), da bicicleta (círculo preto inferior) e do sistema bicicleta/criança (losango amarelo).

O tratamento estatístico, nomeadamente a estatística descritiva de proporção da distribuição das massas foi realizada através do *Microsoft Excel* versão 2404 (Corporation, 2023), com o computador *VivoBook_ASUSLaptop X512JP_F512J*.

2.3. Resultados

Após o cálculo do CG e calculadas as proporções de massa em cada roda de cada criança, foi realizada uma única representação gráfica para cada

conjunto criança-bicicleta, resultante da análise em *Matlab*, como demonstra a figura 4:

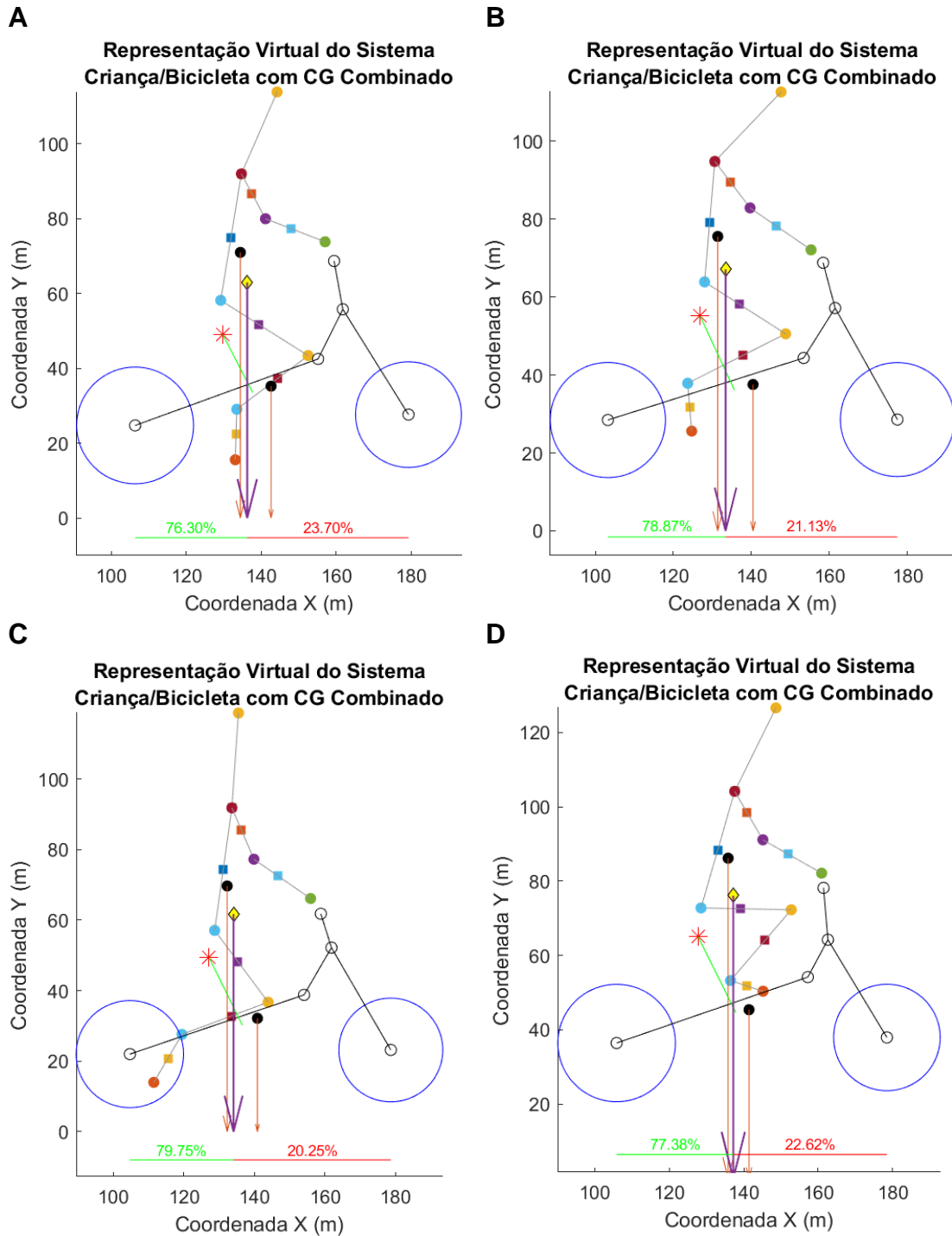


Figura 4. Representação gráfica dos pontos, respectivos CGs e os vetores de projeção do CG individual (círculo preto superior), da bicicleta (círculo preto inferior) e do sistema bicicleta/criança (losango amarelo) em diferentes crianças

Na figura 4, é possível verificar que diferentes crianças colocam os seus segmentos corporais também de forma diferente principalmente os membros inferiores, o que influencia a localização do CG. Essas variações nas posições do conjunto criança-bicicleta afetam as projeções do CG e, conseqüentemente, a distância absoluta do eixo das rodas. Essa distância é utilizada para calcular a proporção de massa de acordo com as equações do cálculo total do CG do sistema bicicleta-criança. A variabilidade nas posições permite uma melhor compreensão das posturas e comportamentos adotados.

Tabela 3. Proporção em percentagem da massa corporal da criança sobre a roda dianteira e traseira

Criança	Proporção de massa Roda Dianteira	Proporção de massa Roda Traseira
C01	15,3%	84,7%
C02	24,2%	75,8%
C03	23,7%	76,3%
C04	19,8%	80,2%
C05	16,7%	83,3%
C06	20,0%	80,0%
C07	21,8%	78,2%
C08	21,3%	78,7%
C09	25,8%	74,2%
C10	24,1%	75,9%
C11	19,2%	80,8%
C12	20,3%	79,7%
C13	23,2%	76,8%
C14	23,9%	76,1%
C15	15,5%	84,5%
C16	22,6%	77,4%
C17	24,3%	75,7%
C18	21,1%	78,9%
Média da proporção	21,3%	78,7%

Os resultados, demonstrados na tabela 3, evidenciaram que a projeção do CG está mais próximo da roda traseira, com uma proporção média de 78,7% da massa do sistema criança-bicicleta, e 21,3% na roda da frente.

2.4. Discussão

Este estudo exploratório recorre à análise biomecânica de forma a investigar qual a proporção de massa do conjunto bicicleta-criança distribuída pelas rodas dianteira e traseira. Os resultados obtidos indicam que, ao estarem sentadas no selim, as crianças adotam diferentes posições dos seus segmentos corporais, especialmente dos membros inferiores, o que influencia a localização do centro de gravidade. Em todas as posições analisadas, o CG do conjunto criança-bicicleta está mais próximo da roda traseira do que da dianteira, resultando em uma maior proporção de massa sobre a roda traseira.

A localização do CG da bicicleta, embora avance ligeiramente o CG do conjunto devido à menor massa da bicicleta, é influenciada pela massa da criança. Como a criança possui uma massa maior que a bicicleta, a localização do CG do sistema combinado é ligeiramente ajustada. Isso resulta em uma maior proporção de massa sobre a roda traseira, com uma média de 78,7%, comparada à roda dianteira.

Os constrangimentos presentes no sistema criança-bicicleta influenciam a sua estabilidade. A posição da criança e a sua massa corporal têm impacto na distribuição da massa total do sistema, especialmente na roda traseira. Esta distribuição de massa pelas duas rodas é crucial para o cálculo dos momentos angulares e de inércia, os quais, por sua vez, são essenciais para entender a estabilidade do sistema.

As diversas posições adotadas pelas crianças refletem os diferentes padrões de comportamento, i.e., diferentes padrões de ciclar, na BE (Mercê et al., 2022). Essa variação de comportamentos é também visível neste estudo, em que as crianças colocam os membros inferiores em diferentes posições, nomeadamente com a perna fletida e coxa na vertical, com os pés posicionados para trás junto à roda traseira, ou ainda, com os pés apoiados no quadro da

bicicleta. Esta diversidade de posições destaca os diferentes comportamentos adotados pelas crianças ao andar de bicicleta.

Recomenda-se que estudos futuros analisem o CG de forma dinâmica e tridimensional para uma compreensão mais detalhada da estabilidade do sistema criança-bicicleta. Além disso, a investigação de outros fatores, como a velocidade e o terreno, pode fornecer pistas adicionais sobre a estabilidade e o controlo da bicicleta.

2.5. Conclusão

Considerando os resultados do presente estudo, verifica-se que a proporção da massa total do sistema criança-bicicleta assenta maioritariamente na roda traseira, sendo que isso terá maior influência daquilo que será a estabilidade da criança durante o processo de aprendizagem. É fornecida uma nova informação sobre a distribuição de massa e estabilidade durante o processo de ciclar. Estes resultados devem ser considerados em análises posteriores da estabilidade durante o processo de aprendizagem de ciclar, podendo auxiliar na elaboração de estratégias de ensino e condições de prática que promovam esta aprendizagem.

Capítulo

Aprender a Ciclar: Será o momento angular das rodas da bicicleta um parâmetro de controlo para os padrões da bicicleta?

Estudo apresentado sobre a forma de comunicação oral:

Bernardino, M., Branco, M., Catela, D., Cordovil, R. & Mercê, C. (2024, setembro 09-10). *Learning to Cycle: Is the wheels' angular momentum a control parameter of the child-bicycle without pedals system?* [Comunicação Oral]. *Cycling & Society Annual Symposium*, Porto, Portugal.

3.1. Enquadramento

Andar de bicicleta, i.e., ciclar, foi recentemente considerada como uma habilidade fundacional dado que promove a adesão e manutenção de trajetórias positivas, saudáveis e ativas ao longo da vida (Hulteen et al., 2018). Ciclar consiste igualmente num importante marco motor na vida das crianças, proporcionando-lhes vários benefícios, nomeadamente ao nível da saúde com a melhoria da composição corporal e condição física (Zeuwts et al., 2020). Mas não só, aprender a ciclar é multiplicar potencialidades motoras e sociais. De bicicleta a criança, desde que o contexto familiar o permita, passa a conseguir explorar muito mais do seu envolvimento, aumenta a sua possibilidade de deslocação e de descoberta de novos espaços, locais ou até amigos (Smith et al., 2017). A bicicleta é promotora de momentos de diversão entre pares, promovendo o desenvolvimento das capacidades relacionais das crianças (Karabaic, 2016). Com zero emissões de carbono, visto que a bicicleta consiste num meio de transporte não poluente, este objeto é catalisador do desenvolvimento motor e social da criança, pelo que a sua aprendizagem em tenra idade deve ser promovida e fomentada (Mercê, Pereira, et al., 2023).

Para aprender a ciclar, os aprendizes têm de em conjunto com um objeto exterior a si, a bicicleta, aprender a pedalar e controlar o equilíbrio simultaneamente (Mercê et al., 2022). A teoria dos sistemas dinâmicos fornece uma base teórica e conceptual para estudar esta aprendizagem. Segundo esta teoria, o conjunto aprendiz-bicicleta pode ser considerado como um sistema dinâmico, o qual se interliga e depende dos seus vários subsistemas estando constantemente em interação bidirecional com o envolvimento (Kelso, 2013). Neste sentido o conjunto aprendiz-bicicleta irá depender dos subsistemas aprendiz, e.g., sistema muscular, nervoso, circulatório e proprioceptivo; da bicicleta, e.g., rodas, guiador, existência ou não da pedaleira e rodas de treino; e da interação entre estes.

A teoria dos sistemas dinâmicos permite estudar o comportamento e também a aprendizagem motora, com especial foco na transição entre estados estáveis, os quais podem representar estados em que a aprendizagem está

consolidada (Kelso, 2013). Para aprender, o aprendiz necessita de captar a informação disponível no envolvimento e, com base na mesma e no seu próprio sistema incluindo a sua experiência prévia, identificar as várias potencialidades de ação, i.e., *affordances* (Gibson, 1979). Toda esta interação acabará por ser sempre bidirecional, ao identificar as *affordances* e ao realizar essas ações, e.g., ciclar mais rápido, a criança estará a mudar a sua posição e informação recebida por parte do exterior, estando constantemente a captar informação e a ajustar-se à mesma, utilizando assim os denominados ciclos de percepção-ação. É com base nesta constante exploração e interação que o aprendiz acabará por se auto-organizar e adquirir a nova habilidade motora, incluindo o ciclar. Os padrões de movimento que resultam da aprendizagem são denominados como parâmetros de ordem ou variáveis coletivas do sistema, os quais são estrangidos pelos parâmetros de controlo que, quando manipulados, promovem a alteração do comportamento. Pequenas alterações num parâmetro de controlo podem levar a mudanças abruptas no sistema como um tudo, resultando numa transição de fase entre os estados do sistema (Kelso, 2013). Desta forma, a identificação dos parâmetros de controlo poderá ser utilizada para facilitar a exploração e transição para novos estados, contribuindo assim para a aprendizagem da nova habilidade motora (Mercê, Davids, et al., 2023).

Estudos recentes na aprendizagem de ciclar têm evidenciado a bicicleta de equilíbrio (BE) como a melhor bicicleta de aprendizagem (Mercê, Davids, et al., 2023; Mercê et al., 2022). O facto de não possuir rodinhas laterais nem pedaleira, permite à criança começar a explorar o equilíbrio desde o primeiro contacto, proporcionando-lhe assim a descoberta de diferentes padrões de interação entre si e a BE. Num estudo recente foram analisados e categorizados os padrões de ciclar nesta bicicleta, tendo como base a observação dos apoios no solo, identificando o: andar, correr, pé-coxinho, saltar, planar, trotar, e apoio único (Mercê et al., 2022). O padrão de andar é baseado no padrão de marcha, sendo composto por uma única fase de apoio único (i.e., apenas um pé está apoiado no solo), seguida de uma fase de duplo apoio (i.e., ambos os pés estão apoiados no solo) e nova fase de voo (i.e., sem apoio dos pés), sendo os apoios únicos alternados. O correr é baseado no padrão de corrida e é composto por uma fase de apoio único, seguida de fase de voo e um novo apoio único alternado. No

padrão de pé-coxinho a criança é impulsionada por um único apoio, seguido de um voo e um novo apoio único do mesmo membro inferior; para que seja considerado este padrão, são necessários pelo menos dois apoios simples consecutivos. Para o saltar a criança é impulsionada por um duplo apoio, seguido de uma fase de voo. No padrão de planar a criança impulsiona-se (através de um apoio simples ou duplo) e mantém o equilíbrio na bicicleta durante pelo menos duas rotações da roda. No trotar a criança é impulsionada por um único apoio, seguido de uma fase de apoio duplo e uma fase de voo. Por último no apoio único a criança é impulsionada por um único apoio, seguido de uma fase de voo. Esta categorização dos padrões de ciclar na BE permite uma identificação mais fácil e objetiva dos padrões, a qual contribui para o estudo da aprendizagem de ciclar.

Interligando os conceitos de parâmetros de ordem e controlo fornecidos pela teoria dos sistemas dinâmicos, com os padrões de ciclar na BE categorizados na literatura anterior, podemos considerar os padrões de ciclar como parâmetros de ordem devendo, nestas circunstâncias, existir um ou mais parâmetros de controlo que quando manipulados são capazes de promover a transição e exploração de diferentes padrões de ciclar. De acordo com a nossa pesquisa, existe apenas um estudo que investiga os potenciais parâmetros de controlo na BE, o qual defende que a velocidade linear promove, com o seu aumento, a transição de padrões de ciclar com fases de voo progressivamente maiores (Mercê et al., 2022). Porém, a variável de velocidade linear traduz de uma forma generalista as inúmeras interações entre as partes do sistema, i.e., aprendiz e bicicleta, não considerando as propriedades de cada um. Recordando que a bicicleta é um instrumento mecânico que se desloca através da rotação das suas rodas, as quais funcionam como giroscópios. Possivelmente, o parâmetro de controlo mais adequado consistirá numa variável que considere outras características do instrumento e da criança. De acordo com os resultados provenientes do primeiro estudo desta dissertação (apresentado no Capítulo II), comprovou-se que o momento angular das rodas, variável cujo cálculo considera a massa total do sistema e o tamanho da roda da bicicleta, é um dos fatores que contribui para a estabilidade do conjunto aprendiz-bicicleta. Neste sentido, o

presente estudo pretendeu investigar se o momento angular das rodas é parâmetro de controlo dos padrões de ciclar na BE.

3.2. Metodologia

3.2.1. Amostra

Neste estudo foram incluídas 25 crianças (9 do sexo feminino e 16 do sexo masculino) com idades compreendidas entre 3 e 7 anos (1 criança de 3 anos, 5 crianças de 4 anos, 9 crianças de 5 anos, 9 crianças de 6 anos, 1 criança de 7 anos, média de $5,16 \pm 0,89$ anos) de diferentes jardins de infância e escolas primárias públicas localizadas no centro do país. Este estudo é composto pela amostra que participou na 1.^a (Mercê et al., 2022) e 2.^a (Bernardino et al., 2023) edições do programa. Os dados referentes a este estudo incidem sobre a primeira fase do programa L2Cycle explicado em maior detalhe na secção abaixo.

3.2.2. Programa L2Cycle

O programa de intervenção Learning to Cycle (L2Cycle) consistiu num programa de intervenção de duas semanas com o objetivo de promover a aprendizagem de ciclar independente na bicicleta convencional em crianças (Mercê, Davids, et al., 2023). Além de potenciar esta aprendizagem, o programa foi desenhado, especificamente, para analisar a influência de diferentes tipos de bicicleta (i.e., BE e bicicleta com rodas laterais, BRL) durante a aprendizagem.

Desta forma as sessões foram desenhadas incluindo uma primeira parte de exploração livre e outra de abordagem mais lúdica, como jogos. Na exploração livre as crianças exploravam a bicicleta sem nenhuma informação específica, podendo usar o campo de 30x15m e uma área com rampas de 20x15m. Já na componente lúdica, os jogos realizados pretendiam criar instabilidade e promovendo a orientação e exploração de soluções, tais como jogos de corridas e de obstáculos (Mercê, Davids, et al., 2023).

O programa decorreu durante 2 semanas com sessões diárias de 30 minutos, subdividido em duas fases (Mercê, Davids, et al., 2023). A primeira fase incluiu 6 sessões e contou com dois grupos onde a única diferença considerável consistiu na bicicleta de aprendizagem: um grupo usou a BE e o outro a BRL. A segunda fase de intervenção contou com quatro sessões, onde ambos os grupos utilizaram a bicicleta convencional. No presente estudo apenas foram considerados os dados recolhidos no grupo de BE durante a primeira fase de intervenção.

3.2.3. Procedimentos e Protocolos

Para a recolha de dados as crianças foram convidadas a ciclar livremente numa BE, durante 5 minutos, num campo de 10x10 metros, sem nenhuma instrução por parte dos investigadores (Mercê et al., 2022). A tarefa foi filmada através de um *smartphone* (Samsung A71, South Korea) e câmaras (Casio EX-ZR200) estrategicamente colocados em vértices do campo de forma a assegurar a constante visualização dos padrões de ciclar na BE realizados por parte da criança.

As variáveis de velocidade e aceleração angular da bicicleta foram recolhidas através de uma Unidade de Medida Inercial (*Inercial Measurement Unit* - IMU), que foi fixada na região interna do aro da roda dianteira da bicicleta. O IMU (SparkFun Razor 9DoF Niwot, Colorado, USA) foi programado para recolher dados a 100Hz. Considerando a definição dos sensores integrados no IMU, o acelerómetro foi configurado a uma aceleração máxima de 4g de modo a permitir a análise de fenómenos como quedas e oscilações e o giroscópio foi configurado para uma velocidade angular máxima de 2000 graus/s, de modo a considerar a velocidade máxima teórica que as rodas poderiam atingir (Mercê et al., 2022). Para sincronizar o IMU com os dados do vídeo foram dados três impactos com a roda dianteira da BE no chão (Mercê et al., 2022). Posteriormente foi identificado o pico de aceleração do primeiro impacto da roda dianteira do IMU em rotina customizada de *Matlab* versão 9.13.0 (The MathWorks, 2022), com o primeiro quadro do vídeo em que se verifica o contacto

da roda da bicicleta no solo visualizada de forma manual no *Kinovea* versão 0.9.5 (Charmant, 2024).

Realizou-se a categorização através de um protocolo previamente validado (Mercê et al., 2022), onde foram identificadas as seguintes categorias: andar, correr, pé-coxinho, saltar, planar, trotar e apoio único.

3.2.4. Tratamento de Dados e Análise Estatística

Relativamente ao tratamento dos dados, optou-se por não realizar o *down sampling* de dados por se considerar que a sensibilidade das oscilações efetuadas pelas crianças poderiam ser removidas (Mercê et al., 2022).

A partir da categorização dos padrões de ciclar organizou-se uma base de dados com o tempo inicial e final que a criança realizou cada um dos padrões durante a tarefa.

Para a análise dos parâmetros de controlo foi criado um código personalizado em *Matlab*, o qual importava a base de dados dos padrões e os dados de velocidade angular dos sensores inerciais. Os dados de velocidade angular foram filtrados com o filtro digital passa-baixo do tipo *butterworth* de quarta ordem com uma frequência de corte de 10 Hz (figura 5).

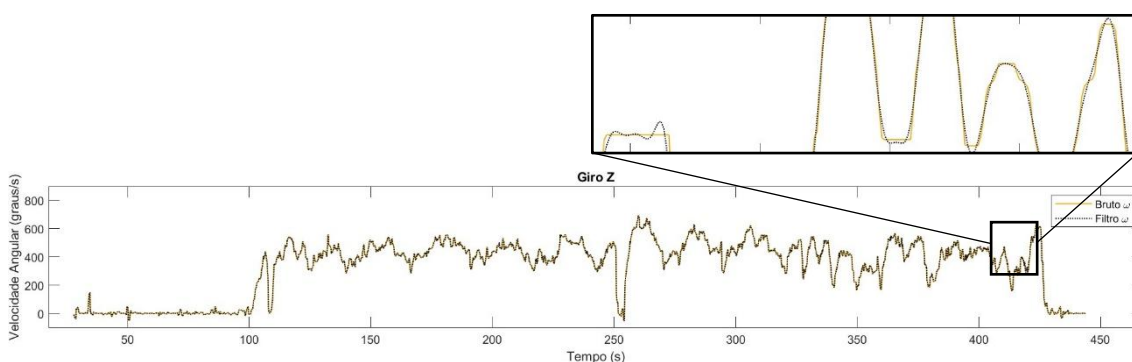


Figura 5. Representação gráfica da aplicação do filtro e respetiva curva nos dados de velocidade angular.

Seguidamente, a velocidade angular, foi convertida de metros por segundo para radianos por segundo, e calculado o momento angular para cada roda da bicicleta, considerando o raio da roda e a proporção de massas do conjunto

bicicleta-criança que recai sobre cada uma das rodas estimado no primeiro estudo desta dissertação. Posteriormente foram calculados os valores absolutos e totais do momento angular sentido pelo conjunto bicicleta-criança. Para melhor definição do momento angular ao longo da tarefa foi aplicado ao sinal o método envelope, no qual foi considerada apenas a magnitude superior do seu sinal analítico, utilizando uma separação de picos de 250 ms.

Os dados do momento angular foram depois sincronizados temporalmente com os tempos dos padrões de ciclar, de modo a visualizar estes padrões por momento angular ao longo do tempo.

Por último, foram colocados em gráfico os padrões de ciclar ao longo dos valores de momento angular.

Foram calculadas as frequências de padrões de todas as crianças por valores de momento angular. A estas frequências, de padrões por magnitude de momento angular, foi aplicada uma suavização utilizando um método de regressão local com um modelo polinomial de primeiro grau considerando a diminuição do peso dos *outliers*, atribuindo o valor de zero para os *outliers* que estão afastados mais do que seis desvios-padrão à média.

Foi realizada a estatística descritiva para caracterizar a amostra, e para calcular os valores da média (M), mediana (Md), desvio-padrão (DP), mínimo (Mín) e máximo (Máx) para os momentos angulares de cada padrão. A normalidade da distribuição foi testada para todas as variáveis e estudo, não tendo sido assumida. Na estatística inferencial procedeu-se à comparação entre padrões para ambas as observações (O1 e O2), através do teste de *Friedman* e com as comparações múltiplas com o teste de *Durbin-Conover*. Foi calculado o *effect size* para o teste de *Friedman* com o cálculo de *Kendall's (W)* e para o teste de *Durbin-Conover* com o *Rosenthal (r)* (Field, 2024). O *effect size* foi interpretado de acordo com os seguintes valores de referência: 0,1 a 0,3 efeito pequeno; 0,3 a 0,5 efeito moderado; $\geq 0,5$ efeito grande (Field, 2024).

3.3. Resultados

A Tabela 4 mostra a estatística descritiva com base nas duas observações e nos sete comportamentos explorados pelas crianças na BE.

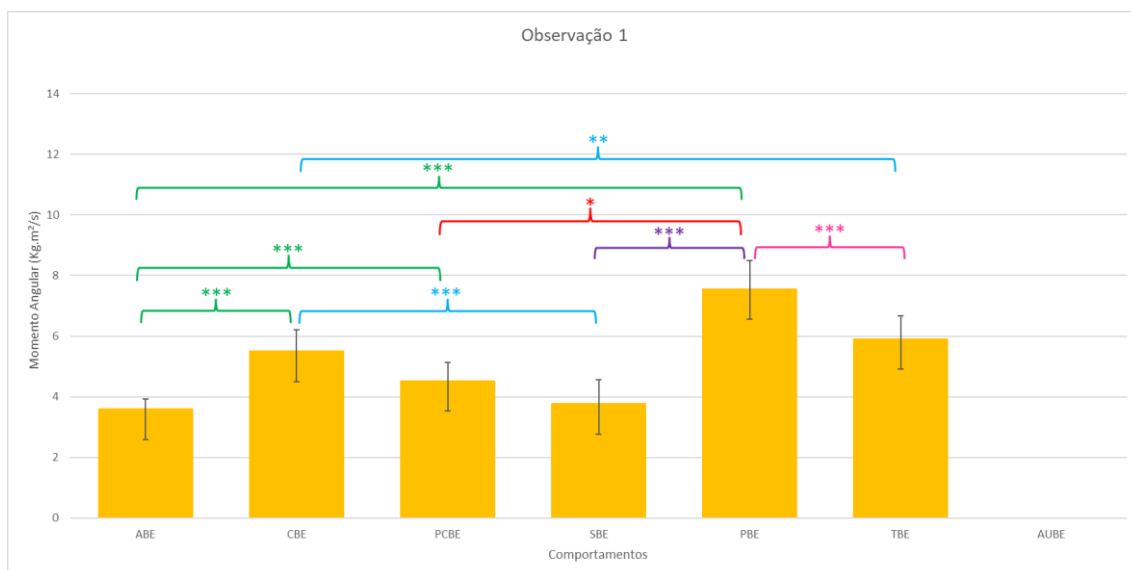
Tabela 4. Estatística descritiva dos momentos angulares por comportamentos na BE.

	ABE		CBE		PCBE		SBE		PBE		TBE		AUBE	
	O1	O2	O1	O2	O1	O2	O1	O2	O1	O2	O1	O2	O1	O2
N	25	24	10	24	13	25	8	19	5	23	6	15	0	12
M	3,59	5,31	5,5	7,93	4,53	7,59	3,77	7,39	7,56	8,5	5,91	7,58		8,11
Md	3,61	5,23	6,14	7,54	4,53	7,38	4,64	7,61	7,51	8,62	5,25	7,34		7,82
DP	1,68	1,57	2,25	2,35	2,15	2,5	2,22	3,2	2,1	2,49	1,85	2,81		2,97
Mín	0,781	3,05	1,34	4,82	1,05	3,05	0,616	2,5	4,64	4,47	4,17	2,83		4,18
Máx	6,61	9,67	8,05	14,6	8,04	14,7	6,46	15	9,63	13,8	8,8	13,8		14,4

Nota: M – média; Md – mediana; DP – desvio-padrão; Mín – mínimo; Máx – máximo

Comportamentos na BE (bicicleta de equilíbrio) ABE – Andar; CBE – Correr; PCBE – Pé-Coxinho; SBE – Saltar; PBE – Planar; TBE – Trotear; AUBE – Apoio Único

Considerando a estatística descritiva, os dados mostram que, de um modo geral, o padrão de andar na BE (ABE) apresenta um menor momento angular (i.e., menores valores médios, mínimo e máximo) em oposição aos restantes padrões observados, tendo apenas o saltar (SBE) como padrão em que estes valores são mais próximos. Esta informação é semelhante nos dois momentos de observação, no entanto, verifica-se no segundo momento que os valores de momento angular no ABE diferem mais para os restantes. De modo inverso, o planar na bicicleta (PBE) apresenta maiores magnitudes médias nos dois momentos de observação. Na comparação dos momentos angulares dos vários padrões no mesmo momento de observação, verificaram-se diferenças significativas na observação 1 ($\chi=17,4$; $p\leq 0,01$; $W=0,139$) e na observação 2 ($\chi=25,8$; $p\leq 0,01$; $W=0,172$). Estas diferenças entre padrões encontram-se apresentadas nas figuras 6 e 7, respetivamente para a observação 1 e 2.



*Figura 6. Valores de momento angular por padrões motores na BE obtidos na Observação 1. A cor das chavetas corresponde às comparações com diferenças significativas de um padrão com os outros. Nota: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,02$; *** $p \leq 0,01$.*

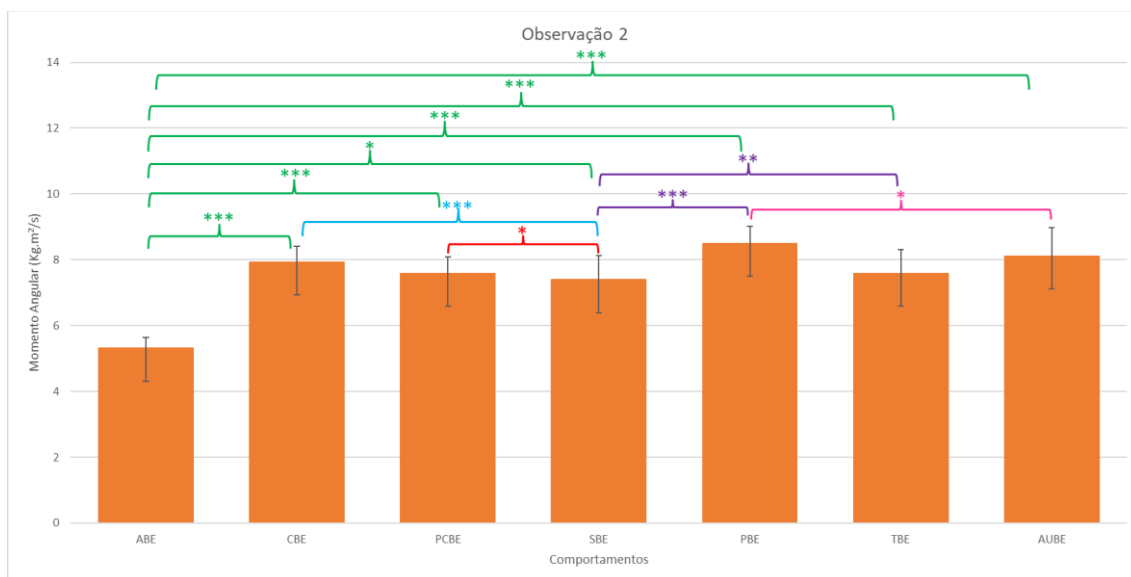
Com base na O1 verificamos que na comparação do andar com os outros padrões (chavetas verdes) existem diferenças significativas entre o padrão andar e correr ($\chi=4,58$; $p \leq 0,01$; $r=0,675$), andar e pé-coxinho ($\chi=2,963$; $p \leq 0,01$; $r=0,510$) e andar e planar ($\chi=5,388$; $p \leq 0,01$; $r=0,733$). Estes resultados revelam que o momento angular do correr, pé-coxinho e planar são significativamente superiores ao momento angular do andar.

Nas comparações entre o correr e os outros padrões (chavetas azuis), verificamos que existem diferenças significativas entre o padrão correr e saltar ($\chi=3,502$; $p \leq 0,01$; $r=0,574$) e correr e trotar ($\chi=2,694$; $p \leq 0,02$; $r=0,474$). Estes padrões têm valores de momento angular significativamente inferiores ao do correr.

Nas comparações entre o pé-coxinho e os outros padrões (chaveta vermelha), verifica-se que existem diferenças significativas entre o padrão pé-coxinho e planar ($\chi=2,425$; $p \leq 0,05$; $r=0,436$), onde o planar mostra valores de momento angular significativamente superiores ao do pé-coxinho.

Na comparação entre o saltar e os outros padrões (chaveta roxa), verificaram-se diferenças significativas entre o padrão saltar e planar ($\chi=4,311$; $p \leq 0,01$; $r=0,653$) onde planar tem valores de momento angular superiores ao do saltar. Por fim, na comparação entre o planar e os outros padrões (chaveta rosa),

verificaram-se diferenças significativas entre o planar e o trotar ($\chi=3,502$; $\rho\leq 0,01$; $r=0,574$) onde o trotar apresenta valores de momento angular inferiores ao do planar.



*Figura 7. Valores de momento angular por padrões motores na BE obtidos na Observação 2. A cor das chavetas corresponde às comparações com diferenças significativas de um padrão com os outros. Nota: * $p\leq 0,05$; ** $p\leq 0,02$; *** $p\leq 0,01$.*

Os resultados obtidos na O2 demonstram que, com base nas comparações entre o andar e os outros padrões (chavetas verdes), existem diferenças significativas entre o padrão andar e correr ($\chi=4,992$; $\rho\leq 0,01$; $r=0,707$), andar e pé-coxinho ($\chi=4,405$; $\rho\leq 0,01$; $r=0,661$), andar e saltar ($\chi=2,203$; $\rho\leq 0,05$; $r=0,403$), andar e planar ($\chi=5,727$; $\rho\leq 0,01$; $r=0,753$), andar e trotar ($\chi=4,699$; $\rho\leq 0,01$; $r=0,685$) e andar e apoio único ($\chi=3,524$; $\rho\leq 0,01$; $r=0,576$). Em todos eles o momento angular do correr, pé-coxinho, planar, trotar e apoio único são significativamente superiores ao do andar, com exceção para o saltar, cujo momento angular é inferior ao de andar.

No padrão de correr (chaveta azul), verificaram-se diferenças significativas entre o padrão correr e o saltar ($\chi=2,79$; $\rho\leq 0,01$; $r=0,487$) onde os valores de momento angular do saltar são inferiores aos do correr.

Na comparação entre o padrão de pé-coxinho com os outros padrões (chaveta vermelha), verificam-se diferenças significativas entre o padrão pé-

coxinho e o saltar ($\chi=2,203$; $\rho\leq 0,05$; $r=0,403$), onde saltar tem valores de momento angular inferiores ao do pé-coxinho.

No padrão de saltar (chaveta roxa), verificam-se diferenças significativas entre o saltar e o planar ($\chi=3,524$; $\rho\leq 0,01$; $r=0,576$) e o saltar e o trotar ($\chi=2,496$; $\rho\leq 0,02$; $r=0,447$), onde ambos têm valores de momento angular superiores ao do saltar.

Por fim, na comparação do padrão de planar com os outros padrões (chaveta rosa), verificam-se diferenças significativas entre o planar e o apoio único ($\chi=2,203$; $\rho\leq 0,05$; $r=0,403$) onde o apoio único tem valores de momento angular inferiores ao do planar.

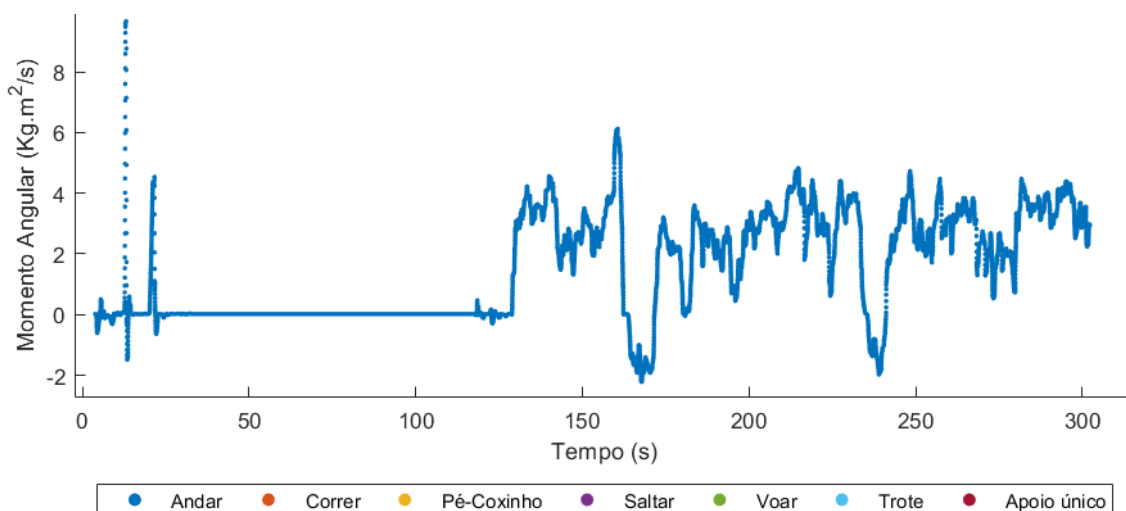


Figura 8. Comportamentos por Momento Angular da Criança BCA na O1.

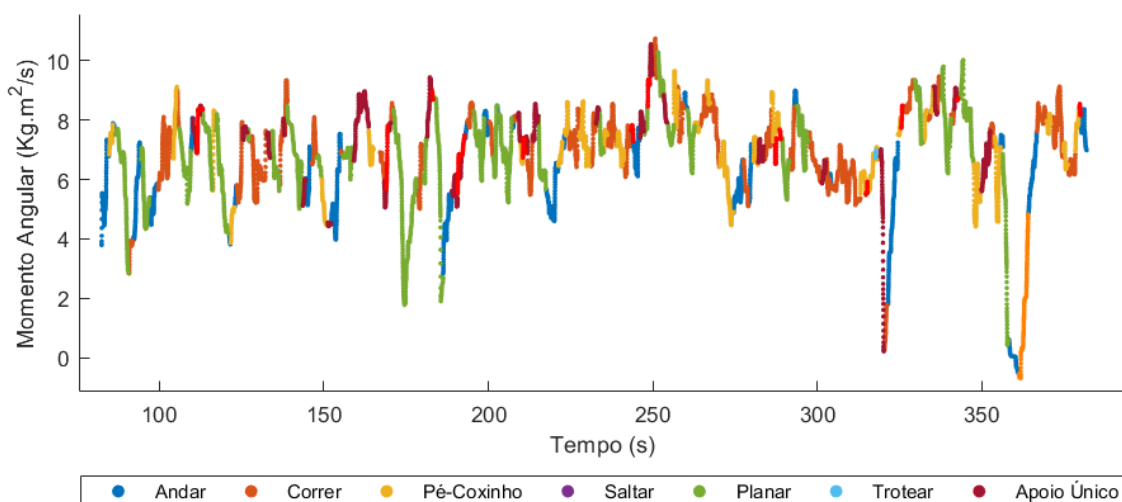


Figura 9. Comportamentos por Momento Angular da Criança BCA na O2.

As figuras 8 e 9 mostram os diferentes padrões por momento angular que a criança adotou nas duas observações. Destaca-se que na O1 a criança teve, predominantemente, o padrão de andar, porém na O2 explorou outros padrões de ciclar, visível nas diferentes cores que a linha apresenta.

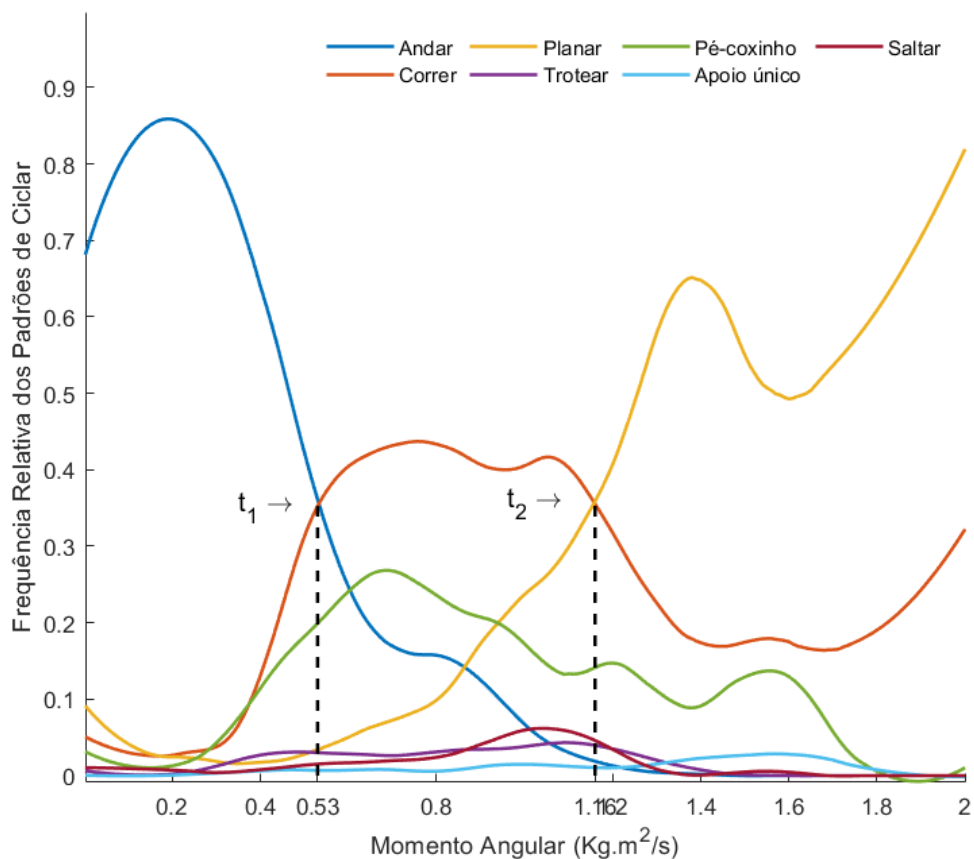


Figura 10. Frequência relativa dos padrões de ciclar com base nos momentos angulares.

Com base no gráfico da figura 10 é possível verificar que o padrão preferido em momentos angulares mais baixos foi o andar, sendo que a partir dos 0,53 Kg.m²/s a maioria das crianças transitou para o padrão de correr e, a partir dos 1,12 Kg.m²/s a maioria das crianças voltou a transitar tendo como padrão preferido o planar.

3.4. Discussão

O presente estudo teve como objetivo investigar se o momento angular das rodas da bicicleta, o qual considera a massa do sistema e raio da roda, poderá ser parâmetro de controlo para os diferentes padrões de ciclar.

A velocidade atua como um parâmetro de controlo em diferentes tipos de locomoção, influenciando as mudanças nos padrões de ordem. Estudos anteriores verificaram que a velocidade linear é parâmetro de controlo em várias habilidades de locomoção, incluindo para andar, trote e galope do cavalo (Hoyt & Taylor, 1981), bem como para a marcha e corrida dos humanos (Kung et al., 2018). A velocidade controla não só a locomoção terrestre, bem como a aquática. Também na natação a velocidade promove transição entre estados, uma vez que os nadadores se ajustam à mudança de velocidade com os diferentes padrões de coordenação dos braços na natação de crawl (Potdevin et al., 2006). Estes exemplos ilustram como o aumento da velocidade pode causar uma transição abrupta entre diferentes padrões de movimentos, i.e., padrões de ordem. Demonstrando que os parâmetros de controlo como a velocidade podem ser manipulados para facilitar a emergência e a transição de padrões específicos de coordenação, o que por sua vez poderá facilitar a aprendizagem motora.

Com toda esta literatura e resultados era presumível que a velocidade linear também pudesse atuar como parâmetro de controlo nos padrões de ciclar na BE. Tal como o estudo de Mercê et. al (2022) investigou e defende a velocidade linear influencia a transição entre padrões de ciclar, uma vez que ao manipular a velocidade, novos padrões de ciclar surgem, demonstrando como o parâmetro de controlo pode causar transições entre diferentes estados em sistemas dinâmicos. O estudo destaca ainda três padrões de ciclar que surgem em diferentes velocidades, como mostra a figura 11 B, destacando que esse progresso mostra que à medida que a velocidade aumenta, o sistema transita entre esses padrões, apoiado a ideia de que a velocidade linear é um parâmetro de controlo.

Porém, em nenhum dos estudos supramencionados o sistema fora composto por um componente biológica (i.e., aprendiz, humano) e uma

componente mecânica (i.e., bicicleta) como ocorre na aprendizagem de ciclar. Relembrando a teoria dos sistemas dinâmicos, a aprendizagem resulta da interação entre os vários subsistemas que compõem o sistema (Kelso, 2013). Neste sentido, torna-se não só pertinente, mas essencial, considerar a componente mecânica deste novo sistema aprendiz-bicicleta. O momento angular tem embutido a massa total do sistema bem como o raio da bicicleta, pelo que por essas razões poderíamos supor que seria um parâmetro de controlo mais adequado.

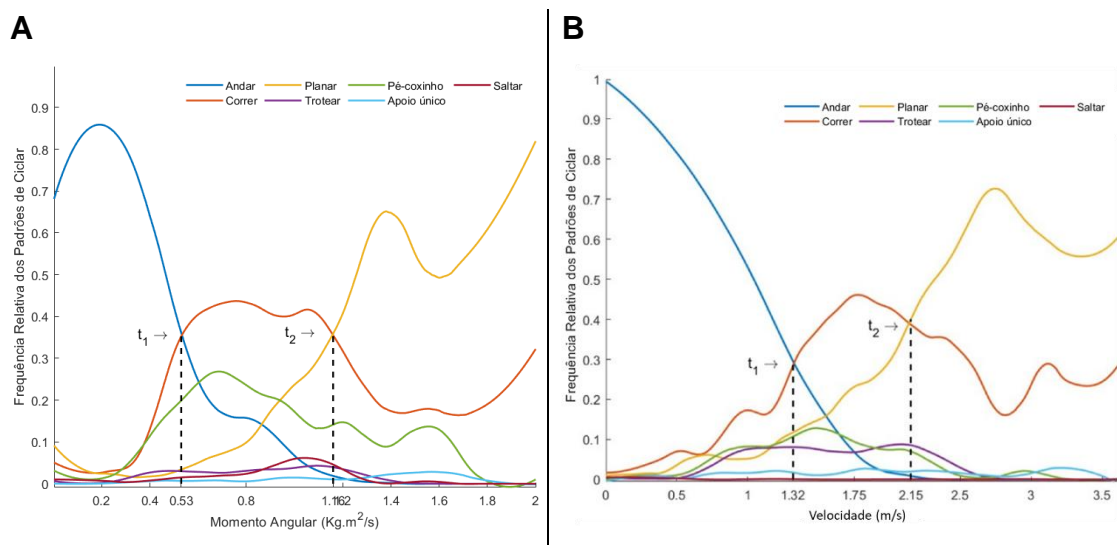


Figura 11. A) Frequência relativa dos padrões de ciclar com base nos momentos angulares. B) Frequência relativa dos padrões de ciclar com base na Velocidade linear da bicicleta (adaptado de (Mercê et al., 2022)).

Dado que o momento angular é um parâmetro mais completo por ter em consideração a massa da criança e da bicicleta, formulou-se a hipótese de esta ser a variável mais ajustada. Conseguimos perceber que as crianças transitam de padrões de ciclar quando atingem velocidades angulares superiores logo momentos angulares com valores superiores.

Detetou-se que à medida que os valores iam aumentando iam emergindo novos padrões de ciclar, isto é, o planar demonstrou-se ser um atrator muito forte, apresentando velocidades altas assim como valores angulares elevados.

Visualizando a figura 11 A verifica-se que para momentos angulares até 0,53 kg.m²/s, andar parece ser um modo de ação mais estável e maioritariamente adotado, pois foi o que as crianças exibiram com maior

frequência. No entanto, acima de $0,53 \text{ kg.m}^2/\text{s}$, correr parece tornar-se mais confortável, sendo o modo de ação preferido até que o momento angular atinja $1,12 \text{ kg.m}^2/\text{s}$, passando a ser o planar o padrão prevalente. Portanto, o momento angular pode ser considerado um parâmetro de controlo do sistema que leva a transições de fase à medida que a estabilidade dos diferentes atratores é ameaçada.

Curiosamente, os treinadores de modalidades de bicicleta que atuam na aprendizagem de ciclar referem o maior tamanho da roda como potencial facilitador da aprendizagem. Este conhecimento empírico reforça a nossa hipótese em estudo e resultados encontrados, o maior raio da roda contribui para maiores momentos angulares, o que por sua vez contribui para uma maior estabilidade dos sistema aprendiz-bicicleta, propiciando a exploração de novos padrões de ciclar.

3.5. Conclusão

Os resultados demonstram que à medida que os valores do momento angular aumentam, as crianças sentiram-se atraídas para realizar diferentes padrões de ciclar. Conclui-se que o momento angular poderá ser um parâmetro de controlo para os padrões de ciclar na BE.

Capítulo IV

Discussão Geral

4.1. Discussão Geral

Considerando o objetivo desta dissertação que consistia em investigar os possíveis parâmetros que podem facilitar a aprendizagem do ciclar, focou-se em dois estudos para responder à questão se o momento angular poderá ser o parâmetro de controlo que promove a transição entre os padrões de ciclar.

Inicialmente foram avaliadas as componentes mecânicas que influenciam a estabilidade (1.º estudo). Uma vez que a massa que recai sobre cada uma das rodas não é distribuída igualmente, este estudo analisou a proporção de massa entre as rodas dianteira e traseira do sistema criança-bicicleta. Resultando assim num valor superior de massa sobre a roda traseira comparativamente com a roda dianteira. Considerando que a aprendizagem da utilização da bicicleta resulta da interação dinâmica entre os vários constrangimentos como a massa da criança (organismo), massa e raio da roda da bicicleta (tarefa), a distribuição de massa das rodas no sistema criança-bicicleta deve ser considerada para análises da estabilidade. Após uma pesquisa aprofundada sobre giroscópios, verificou-se que o momento angular apresenta uma forte ligação com a estabilidade (Gattringer et al., 2018; Keo & Yamakita, 2009). Estas informações são cruciais para entender os processos de aprendizagem e definir soluções ergonómicas para bicicletas de equilíbrio, uma vez que as duas rodas geram momento angular, promovendo estabilidade à criança durante o manuseamento na bicicleta.

Posteriormente o segundo estudo objetivou investigar se o momento angular é um parâmetro de controlo para os diferentes padrões de ciclar na BE. Uma vez que o momento angular explica diferentes situações, que estudos anteriores não consideravam e não explicavam outras situações, tal como, quando se pedala a bicicleta em cima de rolos. Nesta situação, a bicicleta não possui velocidade linear uma vez que a roda gira sobre os rolos e a bicicleta está parada. Porém consequentemente esta apresenta um momento angular, provocado pela roda de tração, o qual explica a estabilidade quando o indivíduo pedala em cima dos rolos. Mais uma vez, a velocidade linear não representa a contribuição das características intrínsecas, que por sua vez é considerada no momento angular na massa do sistema criança-bicicleta, no raio das rodas e na

velocidade angular. Os resultados mostraram que, à medida que o MA aumenta, as crianças tendem a transitar entre os comportamentos. Com base nisso, propõem-se que o momento angular seja um parâmetro de controlo para a BE, sendo a velocidade linear uma expressão dele.

Com a aplicação desta dissertação surgiu uma limitação no 1.º estudo, nomeadamente ao nível da tabela de *Dempster* (Robertson et al., 2014), para o cálculo dos centros de gravidade baseado nos valores relativos de massa de cada segmento e da localização do CG. De acordo com a pesquisa efetuada não foi encontrada nenhuma tabela ajustada à amostra do estudo. Existem alguns estudos (Jensen, 1989) que tentam mostrar, em algumas idades, as alterações de proporção, porém essas não demonstram os valores para o CG e os MI de cada um dos segmentos, ainda para mais as crianças apresentam idades diferentes, maturações diferentes e conseqüentemente massas diferentes. A dificuldade em encontrar estas tabelas destaca-se ainda mais devido à inexistência de referência de tamanho e massa por idade. Pois crianças com o mesmo tamanho podem apresentar massas diferentes e conseqüentemente valores distintos. Optamos por usar a tabela de *Dempster* (Robertson et al., 2014) usando sempre o mesmo modelo.

A presente dissertação revela igualmente várias forças, nomeadamente o aprofundamento da literatura específica dos parâmetros de controlo para os padrões de ciclar, permitindo a verificação de um potencial parâmetro de controlo que é transversal aos vários modelos de bicicletas. Além desta força, destaca-se o contexto ecológico em que todas as recolhas foram realizadas, aliado à utilização de equipamento tecnológico e inovador (i.e., IMU), o qual permitiu a recolha de grande número de dados de forma minimamente invasiva.

4.2. Recomendações para a prática profissional

Para otimizar a eficiência do processo de aprendizagem de ciclar, segundo os resultados dos presentes estudos, podem-se sugerir várias recomendações. Considerando a análise biomecânica da bicicleta bem como dos fatores de estabilidade, discutidos no Estudo 1, poder-se-ia considerar como

recomendação o aumento da massa da bicicleta. Porém, esta análise não pode ser isolada devendo considerar todas as características do sistema bicicleta-criança. Tendo em conta que a aprendizagem de ciclar é realizada principalmente por crianças mais jovens, o peso adicional poderia interferir nos seus movimentos e na manipulação da bicicleta. Há ainda que denotar que nas primeiras infâncias (i.e., primeira, segunda e terceira infância) o sistema que se encontra em maior desenvolvimento é o neural, enquanto o sistema músculo-esquelético ainda não está preparado para suportar cargas exteriores elevadas. Por estas razões, o aumento da massa da bicicleta enquanto estratégia para aumentar a eficiência da aprendizagem de ciclar, revela-se uma abordagem inadequada. A recomendação mais ajustada será manter o peso da bicicleta e, por meio da combinação de materiais dos vários segmentos da bicicleta, distribuir o peso de forma mais inferior, o que resultaria em um centro de gravidade mais baixo e, conseqüentemente, maior estabilidade.

Como estratégias de ensino, destacam-se o uso de *affordances*. As estratégias de ensino devem ser direcionadas para que a criança explore o ambiente, com jogos, terrenos irregulares (e.g., como rampas que favorecem o aumento da velocidade angular) e obstáculos que criem variadas possibilidades de ação. Estes elementos permitirão que a criança se auto-organize e escolha o comportamento mais adequado para cada situação. Dessa forma, elas são convidadas a explorar diferentes soluções motoras e, com essa experiência, conseguem descobrir a solução mais eficiente face a cada contexto, sendo atraídas para comportamentos que proporcionem conforto e estabilidade. Ou seja, lidar com os princípios mecânicos da velocidade gerada pelo movimento envolverá o uso de padrões motores adequados a cada situação.

4.3. Recomendações para investigação futura

Estas recomendações visam orientar pesquisas futuras, fornecendo dados mais robustos, desta forma destaca-se a importância de posteriormente realizar a análise do CG de forma dinâmica e tridimensional.

Para estudos futuros destaca-se que ainda não foi estudada a sinergia entre o instrumento, i.e., bicicleta, e o aprendiz e para isso poderá ser utilizada uma análise não-linear de correlação cruzada (*cross-recurrence*). Desta forma seria aplicada a duas variáveis (dois pontos), um deles da bicicleta (quadro) e outro um sensor da criança e ir verificar se ao nível da correlação cruzada a criança da BE é mais recorrente, ou seja, está a ter uma sinergia mais equilibrada do que a da BRL.

Referências Bibliográficas

- Bernardino, M., Branco, M., Catela, D., Cordovil, R., & Mercê, C. (2023). Aprender a ciclar em 5 horas? Resultados de 2 intervenções. Em *Estudos em Desenvolvimento Motor da Criança XVI* (Centro de Publicidade/Universidade da Maia; Centro de Investigação em Desporto, Saúde e Desenvolvimento Humano (UID/04045/2020), p. 473). Edições ISMAI.
- Charmant, J. (2024). *Kinovea* (Versão 0.9.5) [Windows]. <https://www.kinovea.org>
- Chow, J. Y., Davids, K., Button, C., & Renshaw, I. (2021). *Nonlinear Pedagogy in Skill Acquisition: An Introduction* (2nd Edition). Routledge.
- Cordovil, R., & Barreiros, J. (2020). *Desenvolvimento Motor na Infância* (Edições FMH).
- Corporation, M. (2023). *Microsoft Excel* (Versão (2405 Build 16. 0. 17628. 20006) 64-bit) [Software]. <https://office.microsoft.com/excel>
- Eckert, H. M. (1994). *Desenvolvimento Motor* (Editora Manole Saúde).
- Field, A. (2024). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (Sixth). Sage Publishing.
- Gattringer, H., Reiter, A., Müller, A., Wagner, D., & Mauernböck, T. (2018). Dynamical Modeling and LQR Control of a Gyroscopically Stabilized Bicycle. *PAMM*, 18. <https://doi.org/10.1002/pamm.201800406>
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Houghton Mifflin.
- Hall, S. J. (2022). *Basic biomechanics* (Ninth Edition). McGraw Hill LLC.
- Hoyt, D. F., & Taylor, C. R. (1981). Gait and the energetics of locomotion in horses. *Nature*, 292(5820), 239–240. <https://doi.org/10.1038/292239a0>
- Hulteen, R. M., Morgan, P. J., Barnett, L. M., Stodden, D. F., & Lubans, D. R. (2018). Development of Foundational Movement Skills: A Conceptual Model for Physical Activity Across the Lifespan. *Sports Medicine*, 48(7), 1533–1540. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0892-6>
- Jensen, R. K. (1989). Changes in segment inertia proportions between 4 and 20 years. *Journal of Biomechanics*, 22(6–7), 529–536. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(89\)90004-3](https://doi.org/10.1016/0021-9290(89)90004-3)
- Karabaic, L. (2016). *Putting the Fun Before the Work: Using Bike Fun to Diversify Bike Ridership*.
- Kelso, J. A. S. (2013). Coordination Dynamics. Em R. A. Meyers (Ed.), *Encyclopedia of Complexity and Systems Science* (pp. 1–41). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-3-642-27737-5_101-3

- Keo, L., & Yamakita, M. (2009). Controlling balancer and steering for bicycle stabilization. *2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 4541–4546. <https://doi.org/10.1109/IROS.2009.5353966>
- Kung, S. M., Fink, P. W., Legg, S. J., Ali, A., & Shultz, S. P. (2018). What factors determine the preferred gait transition speed in humans? A review of the triggering mechanisms. *Human Movement Science*, 57, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.10.023>
- Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). *Growth, Maturation, and Physical Activity* (2nd ed.). Human Kinetics Books.
- Mercê, C., Cordovil, R., Catela, D., Galdino, F., Bernardino, M., Altenburg, M., António, G., Brígida, N., & Branco, M. (2022). Learning to Cycle: Is Velocity a Control Parameter for Children’s Cycle Patterns on the Balance Bike? *Children*, 9(12), 1937. <https://doi.org/10.3390/children9121937>
- Mercê, C., Davids, K., Catela, D., Branco, M., Correia, V., & Cordovil, R. (2023). Learning to cycle: A constraint-led intervention programme using different cycling task constraints. *Physical Education and Sport Pedagogy*, 1–14. <https://doi.org/10.1080/17408989.2023.2185599>
- Mercê, C., Pereira, J. V., Branco, M., Catela, D., & Cordovil, R. (2023). Training programmes to learn how to ride a bicycle independently for children and youths: A systematic review. *Physical Education and Sport Pedagogy*, 28(5), 530–545. <https://doi.org/10.1080/17408989.2021.2005014>
- Newell, K. M. (1986). Constraints on the development of coordination. Em Wade & H. T. A. Whiting (Eds.), *Motor Development in Children: Aspects of Coordination and Control* (pp. 341–360). Springer Netherlands.
- Orsini, A. F., & O’Brien, C. (2006). Fun, Fast and Fit: Influences and Motivators for Teenagers Who Cycle to School. *Children, Youth and Environments*, 16(1), 121–132. <https://doi.org/10.1353/cye.2006.0029>
- Potdevin, F., Bril, B., Sidney, M., & Pelayo, P. (2006). Stroke frequency and arm coordination in front crawl swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 27(3), 193–198. <https://doi.org/10.1055/s-2005-837545>
- Robertson, D. G. E., Caldwell, G. E., Hamill, J., Kamen, G., & Whittlesey, S. N. (2014). *Research Methods in Biomechanics* (2.^a ed.). Human Kinetics. <https://doi.org/10.5040/9781492595809>
- Smith, M., Hosking, J., Woodward, A., Witten, K., MacMillan, A., Field, A., Baas, P., & Mackie, H. (2017). Systematic literature review of built environment effects on physical activity and active transport – an update and new findings on health

equity. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 14(1), 158. <https://doi.org/10.1186/s12966-017-0613-9>

The MathWorks, I. (2022). *Matlab version: 9.13.0 (R2022b)* (Versão 9.13.0) [Software]. <https://www.mathworks.com>

Zeuwts, L. H. R. H., Deconinck, F. J. A., Vansteenkiste, P., Cardon, G., & Lenoir, M. (2020). Understanding the development of bicycling skills in children: A systematic review. *Safety Science*, 123, 104562. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.104562>