



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO MOVIMENTO HUMANO
ESPECIALIZAÇÃO EM PESQUISA E CIÊNCIA DO MOVIMENTO HUMANO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO - BIOMECÂNICA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

**PRODUÇÃO DE TORQUE NO CICLISMO: ANÁLISE DA SIMETRIA NA
PEDALADA DURANTE 40 km SIMULADOS**

Felipe Pivetta Carpes

PPGCMH

Santa Maria, RS, Brasil.

2004

UFSM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO MOVIMENTO HUMANO

**PRODUÇÃO DE TORQUE NO CICLISMO: ANÁLISE DA SIMETRIA NA
PEDALADA DURANTE 40 km SIMULADOS**

por
Felipe Pivetta Carpes

Orientador
Prof. Dr. Carlos Bolli Mota

Monografia de Especialização apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Pesquisa e Ensino do Movimento Humano, do Centro de Educação Física e
Desportos da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para a
obtenção do grau de **Especialista em Pesquisa e Ciência do Movimento Humano**
Biomecânica

PPGCMH

Santa Maria, RS, Brasil.

2004

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Educação Física e Desportos
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Movimento Humano

A Comissão Examinadora, abaixo assinada aprova a Monografia de Especialização
intitulada

**PRODUÇÃO DE TORQUE NO CICLISMO: ANÁLISE DA SIMETRIA NA
PEDALADA DURANTE 40 km SIMULADOS**

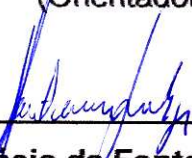
Elaborada por
Felipe Pivetta Carpes

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Especialista em Pesquisa e Ciência do Movimento Humano – Biomecânica

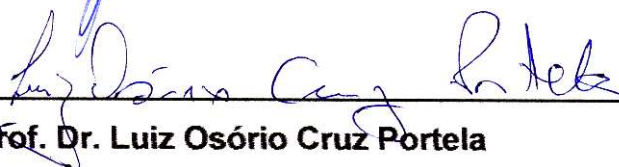
COMISSÃO EXAMINADORA



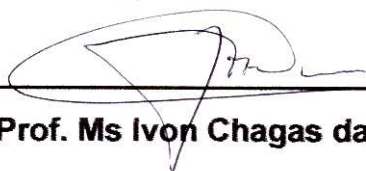
Prof. Dr. Carlos Bolli Mota
(Orientador)



Prof. Dr. Inacio da Fontoura Limberger



Prof. Dr. Luiz Osório Cruz Portela



Prof. Ms Ivon Chagas da Rocha Junior

“Nada acontece por acaso”

AGRADECIMENTOS

Este é um dos momentos de maior prazer dentre todas as etapas do desenvolvimento de uma atividade, isso porque chegamos ao “**final feliz**”, e para isso, diversas pessoas contribuíram direta ou indiretamente para sua conclusão.

Dedico esse espaço simbólico, ainda que pequeno, para as pessoas que foram importantes para mim e meu trabalho durante mais essa etapa.

Inicialmente agradeço a **Minha Família** (Pais e *cia.* **Carpes**), que mesmo sem saber ao certo o que eu tanto estudo, sempre me apóiam, festejam os momentos felizes e me confortam nos momentos difíceis.

À minha namorada **Fernanda**, meu registro eterno de amor e carinho. Ela, que soube contornar minhas crises de estresse quase que freqüentes, ora porque o SRM não funcionava, ora por meu excesso de pressa e dedicação a este trabalho. **Te amo.**

Ao meu melhor **amigo, colega, vizinho** o qual considero também como autor deste trabalho, **Mateus Rossato**, por abraçar a causa do ciclismo (e tantas outras) junto comigo no CEFD, acreditando que nossas idéias tinham sentido, e que embora os percalços insistissem em nos atrapalhar, nós conseguiríamos chegar até esse momento. De quebra, ele ainda foi selecionado para o Mestrado 2005 na UFSC.

Ao amigo **Bolli**, meu orientador, por acreditar nessa nova linha de pesquisa, por ter me apoiado também em superar outra barreira, a parede entre o Laboratório de Biomecânica e o Laboratório de Fisiologia do Exercício e *Performance* Humana para o desenvolvimento de estudos mais completos em conjunto.

Ao professor **Inácio** e ao professor **Alexandre**, meus orientadores no mestrado, por acreditarem que eu conseguiria cursar o primeiro ano do mestrado em conjunto com esse curso de Especialização, bem como pelo apoio junto as minhas atividades, e principalmente a grande amizade que cultivamos.

A todos os colegas que acreditaram no **GEPEC, Grupo de Estudo e Pesquisa em Ciclismo**, auxiliando em todas as fases deste estudo: João (**Jajá**), **Frederico** e **Vilceu**. Este trabalho também é de vocês.

A família do Laboratório de Biomecânica, por suportarem minha atração (às vezes exagerada) pela Biomecânica e pelo **estudo e pesquisa de qualidade**

dentro do Laboratório, o que dá sentido a nossa dedicação e nossa existência no meio acadêmico, em especial ao professor Ivon pelo profissional-exemplo que é, e por sua participação na avaliação deste trabalho.

Ao amigo e colega de pesquisas **Valdeci Foza**, por sempre arrumar um espaço em suas atividades para nos ajudar, sempre com colocações brilhantes e de extrema relevância, além do exemplo de pessoa que é.

Ao professor **Luiz Osório**, por permitir o acesso ao Laboratório de Fisiologia do Exercício e *Performance* Humana, e aos **colegas** deste, que me acolheram como parte de seu grupo, meu muito obrigado e saibam que o Laboratório de Biomecânica estará sempre de portas abertas.

Aos **ciclistas** que participaram deste estudo, pelo vínculo de amizade e confiança criado; por sempre estarem dispostos a realizar avaliações seja qual fosse o dia ou horário (inclusive sábados à noite). Principalmente ao **Pablo Lucatelli**, pelo apoio e confiança, e ao **Max** e o **Fernando**, e **Paulo** pelo interesse e disposição em ajudar e discutir a relação teoria e prática.

Aos **professores e colegas da UFRGS** pela amizade e incentivo na realização deste e de outros estudos que desenvolvemos juntos.

À **Universidade Federal de Santa Maria** por proporcionar a realização deste curso de forma **gratuita**.

A todos que têm contribuído com a minha formação acadêmica e pessoal.

Por fim, àquele que torna todas as coisas possíveis, sempre no tempo certo, Deus.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE ABREVIATURAS	x
LISTA DE EQUAÇÕES	xii
LISTA DE TABELAS	xiii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Contextualização do problema	16
1.2 Objetivo geral	19
1.3 Objetivos específicos	19
1.4 Justificativa	20
2 REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1 Biomecânica do ciclismo	21
2.1.2 Cinemática do ciclismo	22
2.1.3 Cinética do ciclismo	25
2.2 Fisiologia do ciclismo	32
2.2.1 Consumo máximo de oxigênio	33
2.2.2 Simulação de provas em laboratório	35
3 METODOLOGIA	36
3.1 Delineamento da pesquisa	36
3.2 Grupo de estudo	36
3.3 Instrumentos para coleta dos dados	37
3.3.1 Balança-estadiômetro	37
3.3.2 Cicloergômetro SRM	37
3.3.2 Analisador metabólico	38
3.4 Procedimentos para a coleta dos dados	39
3.5 Protocolos	40
3.5.1 Dia 1 – Teste progressivo máximo (TM)	41
3.5.2 Dia 2 – 40 km simulados	43
3.6 Procedimentos de análise estatística dos resultados	45
3.7 Limitações metodológicas deste estudo	46
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	47
4.1 Resultados do teste máximo	47
4.2 Resultados do teste de 40 km simulados	48
4.2.1 Intensidade e duração	48
4.2.2 Padrão de produção de torque	49
4.2.3 Análise do torque em relação à simetria	57
4.2.4 Análise do torque em relação à dominância	62
5 CONCLUSÕES E DIREÇÕES FUTURAS	67
6 REFERÊNCIAS	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Movimento característico do membro inferior direito de um ciclista durante a pedalada, sendo (a) o movimento angular e (b) o movimento linear.....	23
Figura 2.2: Desenhos de selins, adaptado de Bressel & Larson (2003).	24
Figura 2.3: Representação esquemática do ciclo de pedalada, adaptado de BAUM & LILI (2003).	27
Figura 2.4: Forças exercidas no pedal – plano sagital.....	27
Figura 2.5: Decomposição das forças para análise biomecânica – Plano sagital....	28
Equação 2.1	28
Equação 2.2	29
Figura 2.6: Torque produzido durante 40 km contra-relógio simulados em laboratório – Cortesia do Laboratório de Pesquisa do Exercício da UFRGS.	31
Figura 3.1: TEEM 100 e posicionamento da máscara facial.....	39
Figura 3.2: Ambiente de coleta dos dados.....	41
Figura 3.3: Protocolo de avaliação para o teste máximo configurado no SRM.....	42
Figura 3.4: Protocolo de avaliação para o teste de 40 km configurado no SRM	43
Figura 3.5: Administração do reposito	44
Figura 4.1: (a) Determinação dos picos de torque para o membro direito (D) e esquerdo (E) e (b) a assimetria entre os picos	50
Figura 4.2: Torque produzido pelo grupo a cada 5 minutos	52
Figura 4.4: Padrão de torque para o ciclista 1.	53
Figura 4.6: Padrão de torque para o ciclista 3.	54
Figura 4.7: Padrão de torque para o ciclista 4.	54
Figura 4.8: Padrão de torque para o ciclista 5.	55
Figura 4.9: Comportamento da assimetria entre os picos – médio do grupo.....	58
Figura 4.10: Comportamento da assimetria entre os picos para o ciclista 1.....	59
Figura 4.11: Comportamento da assimetria entre os picos para o ciclista 2.....	59
Figura 4.12: Comportamento da assimetria entre os picos para o ciclista 3.....	60
Figura 4.13: Comportamento da assimetria entre os picos para o ciclista 4.....	61
Figura 4.14: Comportamento da assimetria entre os picos para o ciclista 5.....	61
Figura 4.15: Comportamento dos picos em relação ao membro dominante e não dominante – análise do grupo.	62

Figura 4.16: Comportamento dos picos em relação ao membro dominante e não dominante para o ciclista 1.....	63
Figura 4.17: Comportamento dos picos em relação ao membro dominante e não dominante para o ciclista 2.....	64
Figura 4.18: Comportamento dos picos em relação ao membro dominante e não dominante para o ciclista 3.....	64
Figura 4.19: Comportamento dos picos em relação ao membro dominante e não dominante para o ciclista 4.....	65
Figura 4.20: Comportamento dos picos em relação ao membro dominante e não dominante para o ciclista 5.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS

cm	▪ Centímetro (s).
D	▪ Membro inferior dominante
dp	▪ Desvio-padrão
Fe	▪ Força efetiva aplicada ao pedal.
F _i	▪ Força inefetiva aplicada ao pedal.
F _{máx}	▪ Maior magnitude de força observada (pico de força).
Fr	▪ Força resultante aplicada ao pedal.
F _x	▪ Força horizontal aplicada ao pedal, também chamada de força tangencial.
F _y	▪ Força vertical aplicada ao pedal, também chamada de força normal.
h	▪ Hora (s).
IE	▪ Índice de efetividade.
IP	▪ Índice de <i>performance</i> .
kg	▪ Quilograma (s)
km	▪ Quilômetro(s).
M	▪ Média aritmética.
m	▪ Metro (s).
ml	▪ Mililitro (s).
min	▪ Minuto(s).
MTB	▪ Ciclismo <i>mountain bike</i> .
ND	▪ Membro inferior não dominante.
O ₂	▪ Oxigênio.
PDV	▪ Pé de vela.
PMI	▪ Ponto morto inferior – posição do pedal em 180° do PDV.
PMS	▪ Ponto morto superior – posição do pedal em 0° do PDV.
rpm	▪ Rotações do pé de vela por minuto, usada como unidade para a cadência da pedalada.
s	▪ Segundo (s) – unidade de tempo.
SRM	▪ <i>Schoberer Rad Messtechnik</i> , Cicloergômetro SRM system.
t _{40km}	▪ Tempo para percorrer 40 km.
T _{médio}	▪ Torque médio na fase de propulsão.
T _{pico}	▪ Pico de torque na fase de propulsão.

- TM ▪ Teste progressivo máximo.
- UFRGS ▪ Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- UFSM ▪ Universidade Federal de Santa Maria.
- VCO₂ ▪ Volume de dióxido de carbono produzido.
- VE ▪ Ventilação-minuto (quantidade de ar inspirado em um minuto).
- VO₂ ▪ Volume de oxigênio consumido.
- VO₂máx ▪ Volume máximo de oxigênio consumido.
- W ▪ Watts – unidade utilizada para potência.
- %VO₂ ▪ Percentual do consumo do oxigênio.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01:	28
Equação 02:	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Características dos ciclistas do grupo de estudo.....	48
Tabela 4.2: Características da prova simulada quanto ao tempo, intensidade e cadência.	49
Tabela 4.3: Picos de torque durante os 40 km simulados e ângulo para o pico, para o membro dominante e membro não dominante.....	51
Tabela 4.4: Torque médio e o ângulo médio para o pico de torque produzido pelo membro dominante (D) e não dominante (ND) nos 40 km simulados.	51

RESUMO

Monografia de Especialização em Pesquisa e Ciência do Movimento Humano
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Movimento Humano
Universidade Federal de Santa Maria

PRODUÇÃO DE TORQUE NO CICLISMO: ANÁLISE DA SIMETRIA NA PEDALADA DURANTE 40 km SIMULADOS

Autor: Felipe Pivetta Carpes

Orientador: Prof. Dr. Carlos Bolli Mota

Data e local da defesa: Santa Maria, RS, 17 de dezembro de 2004.

O objetivo deste estudo foi verificar a produção de torque durante 40 km de ciclismo, verificando também as relações entre simetria na produção de torque, influência do membro dominante e intensidade do exercício (%VO₂máx). Um grupo de 5 ciclistas da modalidade *mountain bike cross country* (idade média de 24,4 anos, estatura de 1,81 m, massa corporal de 73,48 kg, e VO₂máx de 55,16 ml.kg⁻¹.min⁻¹) foi submetido a dois protocolos de avaliação com intervalo de no máximo 48 h, sendo o primeiro um teste para determinação do consumo máximo de oxigênio em protocolo de rampa (100 W iniciais com incremento de 25 W.min⁻¹), utilizando o cicloergômetro SRM *Training System* e analisador de gases *Aerosport TEEM 100*. O segundo protocolo consistiu na realização de uma prova simulada de 40 km no cicloergômetro SRM *Training System*, onde foi analisado o consumo de oxigênio e o torque propulsivo produzido pelos membros inferiores. O torque foi analisado durante 10 s, a cada 5 minutos durante os 40 km, sendo assumida como assimetria diferenças percentuais iguais ou superiores a 10% entre os picos do membro direito e esquerdo. O tempo médio para percorrer os 40 km foi 62 min 35 s, e a intensidade mantida foi em média 66,33 %VO₂máx. Os resultados mostram que em relação a simetria na produção de torque, cada ciclista apresentou uma resposta diferenciada ao protocolo. O torque médio durante os 40 km apresentou uma correlação de 0,87 com o pico de torque nos 40 km. Com relação à simetria na produção de torque, os resultados mostraram que os ciclistas possuem características de assimetria, entretanto, a mesma variou durante os 40 km e entre os ciclistas, não apresentando uma relação direta com o tempo. A análise do torque propulsivo em relação ao membro dominante (perna de chute) mostrou que o mesmo apresentou relação com os picos de torque (salvo exceções observadas), ou seja, seguidamente o pico de torque foi produzido pelo membro dominante. A intensidade do exercício pareceu não ser um fator limitante para a assimetria, pois foram observadas diferentes respostas dentro o grupo de estudo. Com isso conclui-se que os ciclistas estudados desenvolvem torque de maneira assimétrica em diferentes etapas ao longo de um percurso de 40 km, também essa assimetria apresenta relação com o membro dominante, mas não com a intensidade do exercício. Para uma melhor compreensão do torque produzido durante a pedalada sugere-se o uso de pedais instrumentados e a realização de avaliações individualizadas, visto as diferenças observadas entre os ciclistas.

Palavras-chaves: Ciclismo, SRM Training System, Torque, Simetria.

felipe_carpes@hotmail.com

ABSTRACT

TORQUE PRODUCTION DURING CYCLING: ANALYSIS OF SYMMETRY IN SIMULATED 40 km

Author: Felipe Pivetta Carpes

Advisor: Prof. Dr. Carlos Bolli Mota

Date and presentation place: Santa Maria, RS, December, 17th, 2004.

The aim of this study was verify the torque production in cycling during 40 km, also verifying the relationships between symmetry of torque, dominant member and intensity of the exercise (%VO₂max). A group of 5 mountain bike cross country cyclists (age 24.4 years old, height 1.81 m, body mass 73.48 kg, and VO₂max 55.16 ml.kg⁻¹.min⁻¹) was submitted to two protocols with 48 h of maximal interval, being the first a test for determination of the maximum oxygen uptake (VO₂max) in ramp protocol (start at 100 W with increment of 25 W.min⁻¹), using the cyclergometry SRM Training System and gas analyzer Aerosport TEEM 100. The second protocol consisted in the execution of a 40 km simulated test in the cyclergometry SRM Training System, where the oxygen uptake and propulsive torque produced by lower limbs was analyzed. The torque was analyzed during 10 s, to every 5 minutes during the 40 km course, being assumed the percentile differences equal or superiors at 10% among the peaks of the right and left member as asymmetry. The average time to the 40 km was 62 min 35 s, and the average intensity was 66.33%VO₂max. For the torque, the results show that each cyclist presented a differentiated answer to the protocol. The average torque during the 40 km presented a relationship with the torque peak in the 40 km ($r = 0.87$). With relationship to the symmetry in the propulsive torque, the results show that the cyclists have asymmetry, however, this situation varied during the 40 km and among the subjects, not presenting a pattern defined. The analysis of the propulsive torque in relation to the dominant member (kick leg) it showed that the same presented a relationship with the torque peak, e. g., the torque peak was produced by the dominant member in the majority cases. The intensity of the exercise doesn't be a factor determinant for the asymmetry, because different answers were observed the study group. In summary, the studied cyclists develop torque in an asymmetric way in different stages along a course of 40 km, that's asymmetry is related to the dominant member and nor the intensity of the exercise. For a best understanding of the torque production during pedaling, suggests the use of instrumented pedals and the accomplishment of individualized evaluations because the differences observed among the subjects.

Keywords: Cycling, SRM Training System, Torque, Symmetry.

felipe_carpes@hotmail.com

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, após a contextualização do tema abordado por este estudo, está apresentada a formulação do problema de pesquisa, seguido pelos objetivos traçados, justificativa e motivação para o desenvolvimento deste estudo.

1.1 Contextualização do problema

A partir da década de 70, foi observado um grande aumento na produção do conhecimento ocorreu nas ciências do esporte e do exercício. Novas teorias no treinamento e na preparação de atletas começaram a surgir e a aliança com o avanço tecnológico permitiu o melhor entendimento do desempenho humano bem como sua adaptação ao estresse do exercício. Com isso pode-se, então, começar a melhor compreender de que forma o exercício interfere na vida humana (FARIA & CAVANAGH, 1978).

Nesse contexto o ciclismo vem se revelando um esporte cada vez mais exigente, tanto para os atletas como também para técnicos e fornecedores de equipamentos especializados. Além disso, a atividade de pedalar vem sendo constantemente utilizada em práticas de reabilitação, principalmente devido à possibilidade de controle da carga imposta ao aparelho locomotor (GARRICK & WEBB, 1999).

De acordo com TOO (1990), a evolução da bicicleta tornou seu projeto e fabricação cada vez mais influenciada por detalhes, aonde engenheiros e pesquisadores do esporte vêm atuando em conjunto na busca de um desenho cada vez melhor, pois se chegou a um consenso que não basta apenas uma

aerodinâmica perfeita. É preciso, ainda, uma evolução na capacidade fisiológica e biomecânica do atleta de forma simultânea com a do equipamento. Hoje, os diversos modelos e a atualização quase que constante da geometria de equipamentos confirmam o proposto por TOO.

De acordo com as conclusões dos estudos realizados por BURKE (2003), o atleta de ciclismo é exigido em intensidades quase máximas durante seus treinamentos e competições o que corrobora para que este esporte seja um vasto campo para pesquisa relacionada ao desempenho humano.

Isso serve principalmente a biomecânicos e fisiologistas do exercício, pois a interação ciclista-bicicleta é afetada por fatores biomecânicos, tais como ajustes geométricos da bicicleta, posição do corpo, diferentes tipos de acessórios, e fatores fisiológicos, dentre eles, intensidade do exercício, nutrição e capacidade aeróbica (COYLE, FELTNER, KAUTZ *et al*, 1991), principalmente no ciclismo competitivo, onde ciclistas profissionais mantêm grande produção de potência, e conseqüentemente altas intensidades, ao longo das provas (CHAVARREN & CALBET, 1999).

Para competir em provas de longa distância e duração, ciclistas profissionais devem possuir valores de consumo de oxigênio e limiar de lactato altos, para conseguir manter exercícios prolongados com intensidades superiores a 70% do consumo máximo de oxigênio (FERNANDEZ-GARCIA, TERRADOS, PÉREZ-LANDALUCE *et al*, 2000; NEUMAYER, PFISTER & MITTERBAUER *et al*, 2002).

Estas provas apresentam características especiais, tais como manutenção de altas cadências (LUCIA, HOYOS & CHICHARROS, 2001), maiores picos de torque, com diminuição do torque produtor ao longo da fase de recuperação (SANDERSON & BLACK, 2003), depleção dos estoques de glicogênio e decorrente

fadiga (LEPERS, MAFFIULETTI & ROCHETE *et al*, 2002). Percebe-se também que, nessas provas, a característica de andar em pelotões ajuda os atletas menos preparados a manter o desempenho devido aos benefícios da perseguição (ACKLAND & BUTLER, 2001).

Durante a prática do ciclismo os pedais com cliques provêm muitas vantagens (CAPMAL & VANDERWALLE, 1997; HINTZY, BELLI & GRAPPE *et al*, 1999) e espera-se que as forças transmitidas aos pedais apresentem uma proporcionalidade quando se comparar o torque produzido pelo membro inferior direito e pelo membro inferior esquerdo. Embora a situação ideal seja de simetria nessa produção de força, alguns estudos mostraram que as assimetrias têm se mostrado freqüentes (SMAK, NEPTUNE & HULL, 1999; GREGOR, 2000).

Observa-se que estes estudos avaliaram a simetria na produção de torque e força em protocolos especiais, de esforço máximo, diferentes cadências ou períodos curtos de exercício. Sabe-se também que provas de ciclismo prolongado são possuidoras de características aeróbicas e anaeróbicas nas quais o tempo de exercício e a conseqüente fadiga neuromuscular podem exercer influência sobre diversas variáveis do desempenho no ciclismo (COYLE, FELTNER & KAUTZ, 1991; MILLET, MILLET & LATTIER *et al*, 2003; LEPERS, MAFFIULETTI, ROCHETTE *et al*, 2002; PASSFIELD & DOUST, 2000).

Dentre os estudos analisados não foram encontradas referências ao comportamento da produção de torque em cada um dos membros inferiores em uma situação mais próxima da realidade, como durante o ciclismo em provas que envolvam um tempo prolongado em situação próxima a realidade enfrentada em treinamentos e competições, como provas de 40 km.

Haja vista que o torque é uma importante variável da técnica de pedalada e seu comportamento pode fornecer parâmetros para determinação do desempenho do atleta, torna-se importante o conhecimento de padrões e sua relação com o exercício, buscando conhecer mais dados sobre sua resposta ao exercício prolongado e suas relações com fatores individuais, tais como a dominância de membros. Com base nestes argumentos, formulou-se a seguinte situação problema:

“Como se comporta a produção de torque e a simetria na pedalada durante 40 km de ciclismo?”

1.2 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo é verificar se existem variações na produção de torque e sua simetria durante uma prova de 40 km simulada, no formato contra-relógio.

1.3 Objetivos específicos

- Quantificar o torque produzido pelo membro inferior direito e membro inferior esquerdo em ciclistas durante 40 km de ciclismo simulado;
- Verificar se existe influência do membro inferior dominante sobre a produção de torque;
- Verificar se existe simetria na produção de torque pelos membros inferiores durante 40 km de ciclismo simulado;

- Verificar se a produção e simetria de torque é influenciada pela intensidade de esforço mantida durante 40 km de ciclismo simulado;

1.4 Justificativa

A popularidade do ciclismo vem aumentando no Brasil, trazendo um maior interesse pela prática do esporte e uma maior atenção dos pesquisadores e incentivadores, principalmente após a boa atuação de ciclistas brasileiros no *Pan Americano* de Santo Domingo em 2003, a participação da equipe brasileira nos Jogos Olímpicos de Atenas em 2004 e a confirmação de uma das etapas da Copa do Mundo de *Mountain Bike* no Brasil, em 2005.

Durante provas de longa duração, diversas alterações são reportadas pela literatura, porém, não se encontrou estudos que tenham analisado a produção de torque durante um exercício que simule competição, tampouco estudos que investiguem a simetria de produção de torque e relações com dominância de membros.

Os dados obtidos fornecem parâmetros para a análise do desempenho e a influência do tempo de exercício sobre a simetria na produção de torque propulsivo, bem como a relação entre membro dominante e não dominante. Com isso, um maior conhecimento sobre as respostas humanas ao estímulo do exercício pôde ser discutido.

A partir deste estudo, inclui-se na literatura científica uma questão que até o momento parece não ter sido investigada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo está apresentada a revisão de literatura sobre diversos temas referentes ao esporte ciclismo. Optou-se por abordar não somente aspectos relacionados à produção de torque, mas também outras variáveis biomecânicas comumente encontradas na literatura. Com relação à fisiologia do exercício, optou-se por uma breve abordagem acerca do consumo máximo de oxigênio e realização de provas simuladas em laboratório.

2.1 Biomecânica do ciclismo

O ciclismo esportivo, de alto rendimento e preocupações diversas, que vão desde a posição tomada pelo atleta na bicicleta, até componentes como pedais, freios, selim, pneus, entre outros, tem na pesquisa científica fatores focalizados como as respostas para as alterações na carga de trabalho e/ou na produção de energia, efeitos da posição do corpo e configuração do quadro sobre o desempenho (GREGOR, 2000).

Para a aplicação no objetivo de melhora da condição aeróbica, a bicicleta deve ter conforto, segurança e habilidade para regular a resistência (produzida pelas diferentes relações de marchas), acomodando uma escala de exigências individuais amplas. Com isso, percebe-se que o ciclismo, de acordo com FARIA & CAVANAGH (1978), é extremamente dependente de aspectos mecânicos do corpo humano e da bicicleta, que agem em conjunto corroborando a prática.

Os estudiosos da área da biomecânica do esporte procuram entender e explicar os fenômenos que promovem a interação ciclista-bicicleta, visto que a biomecânica aplicada ao esporte estuda os movimentos no processo do exercício físico e também analisa as ações motoras do esportista como um sistema de movimentos ativos reciprocamente relacionados (DONSKOI & ZATSIORSKY, 1988).

2.1.2 Cinemática do ciclismo

A discussão de modelos para a cinemática do membro inferior durante o ciclismo geralmente enfoca o movimento rítmico de flexões, extensões, aduções e abduções alternadamente dos membros inferiores, (RUBY, HULL, & HAWKINS, 1992; GREGERSEN & HULL, 2003; CHAUDHARI, DYRBY, & ANDRIACCHI, 2004), operando em alguma escala “ótima” de movimento, projetada para produzir o máximo de benefício partindo das propriedades mecânicas dos músculos envolvidos, como exemplo, os músculos esqueléticos dos segmentos inferiores utilizados para gerar potência e movimentar a bicicleta (GREGOR, 2000). O movimento característico do membro inferior direito de um ciclista durante um ciclo de pedalada é apresentado na figura 2.1.

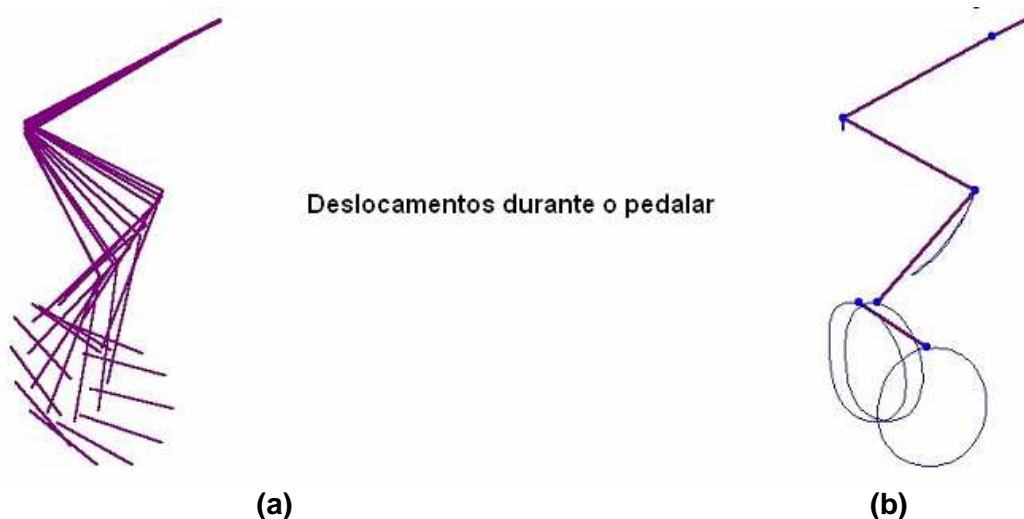


Figura 2.1: Movimento característico do membro inferior direito de um ciclista durante a pedalada, sendo (a) o movimento angular e (b) o movimento linear.

GREGOR (2000) reitera ainda que, ao se fazer um levantamento de pesquisas sobre a cinemática do ciclismo, nota-se que a maioria dos autores considera apenas movimentos no plano sagital, de flexão e extensão do joelho e de flexão plantar e dorsal do tornozelo. Recentemente (2004), DIEFENTHAELER concluiu com avaliações de diferentes posições de selim, que a articulação do tornozelo parece ser a mais influenciada por esse tipo de situação, sendo o tronco, quadril e joelho articulações pouco afetadas em suas características cinemáticas.

Outra aplicação da cinemática é encontrada em um estudo acerca das diferentes posições de apoio no guidom, de autoria de GRAPPE, CANDAU, BUSSO *et al* (1998), o qual propõe que as diferenças entre a posição vertical, inclinada e aerodinâmica podem ser explicadas pela diferença no ângulo do quadril. Os autores ainda colocam que mudanças no “*seat tube angle*”, ou, ângulo de inclinação do selim, podem causar mudanças no ângulo de flexão plantar do tornozelo, bem como mudanças na posição do membro inferior em relação ao eixo do pé de vela, mudanças estas que podem alterar a aplicação das forças durante a pedalada.

Em 2004, DIEFENTHAELER estudou os efeitos de mudanças na posição do selim sobre a cinemática do membro inferior em ciclistas de elite, buscando traçar relações entre a posição adotada pelo ciclista em treinamentos e competições, denominada pelo autor de “posição de referência” e mudanças de 1 cm na posição do selim (mais acima, abaixo, à frente e para trás), verificando que a posição comumente adotada pelo ciclista parece realmente ser a mais eficiente.

Estudando diferentes modelos de selim, BRESSEL & LARSON (2003), analisaram as mudanças nos ângulos do tronco e pelve em conjunto com o conforto percebido por ciclistas decorrente do uso de três tipos de selim (figura 2.2), testando a hipótese de que a mudança nestes ângulos acarreta mudanças na distribuição do peso sobre o guidão, o que pode influenciar as cargas na coluna e ao períneo.

Como os ciclistas pedalam inclinados à frente com as mãos apoiadas ao guidom, uma pressão considerável é aplicada ao períneo anterior. Os resultados deste estudo evidenciam que os desenhos dos selins voltados à diminuição da pressão no períneo anterior influenciam a posição do ciclista na bicicleta, especificamente, o selim com corte parcial parece ser o mais confortável.

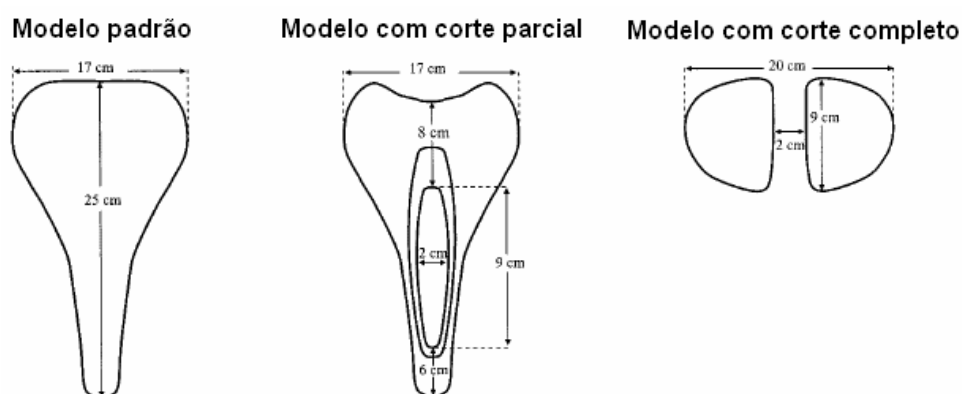


Figura 2.2: Desenhos de selins, adaptado de Bressel & Larson (2003).

A partir dessas análises, os deslocamentos, velocidades e acelerações da coxa, perna e pé, parecem ser mais afetadas pela cadência e pela configuração da

bicicleta, como por exemplo, a altura e posição para frente ou para trás do selim, comprimento do pé de vela e posição do pé sobre o pedal. Com relação aos segmentos superiores do corpo, a inclinação do tronco parece exercer pouco efeito sobre a cinemática do membro inferior (GREGOR, 2000).

Nos últimos anos, tem-se dado maior importância à característica tridimensional da pedalada, onde se encontram, por exemplo, informações sobre rotações da tíbia sobre seu eixo e translação do joelho no plano frontal, sendo este alvo de estudos que apontam que o joelho pode se mover até 6 cm no plano frontal durante um ciclo da pedalada (RUBY, HULL & HAWKINS, 1992), bem como sofrer influência da intensidade do exercício (CARPES, ROSSATO, dos SANTOS *et al*, 2004).

A cadência de pedalada é caracterizada pelo número de revoluções completas que o pé de vela completa em um minuto (rpm). Com relação à cadência de pedalada preferida por ciclistas, LUCIA, HOYOS & CHICHARRO (2001), analisaram a cadência desenvolvida por ciclistas durante as provas do *Giro d'Itália*, *Tour de France* e *Vuelta a España*. Durante trajetos de 50 km e 190 km no plano os ciclistas desenvolveram uma cadência média de 90 rpm. Em contraste, nas subidas a cadência preferida foi em média de 70 rpm, bem mais econômica. Apesar das cadências maiores que 90 rpm não serem as mais econômicas, elas são as preferidas por ciclistas.

2.1.3 Cinética do ciclismo

Para uma análise do ponto de vista biomecânico cinético no ciclismo, se faz de interesse uma ótima integração entre ciclista e bicicleta por meio da

compreensão de forças externas e interativas partindo da bicicleta e que agem sobre o ciclista, sendo as principais as forças que agem no selim, guidom e pedal. A literatura científica apresenta vários estudos que consideram as forças atuantes no pedal como objeto de estudo, visto que a maior energia para o movimento é gerada pelos membros inferiores e transmitida à bicicleta pelo pedal. Já estudos que envolvam as forças atuantes no guidom e selim são mais escassos.

Em estudo acerca das forças geradas no guidom e selim, SODEN & ADEYEFA (1979), se interessaram em avaliar a resistência e o desempenho dos quadros de bicicleta. Para alcançar esse objetivo fizeram medições de forças no guidom, no selim e nos pedais, durante a partida, a subida e a nível normal (terreno sem inclinação) no ciclismo.

Os autores descreveram “*puxadas*” no guidom realizadas com uma força equivalente a 64% do peso corporal do ciclista, com assimetrias nas forças exercidas pelos braços que compensam as cargas alternadas aplicadas aos pedais no esforço para iniciar o movimento da bicicleta durante o ciclo de pedalada.

No ciclo de pedalada existem duas fases, a primeira, denominada como a fase de potência, corresponde ao intervalo de 0° a 180° da posição do pé de vela (PDV), e a fase de recuperação ao intervalo de 180° a 360° (figura 2.3). A posição do pé de vela em 360° determina o ponto máximo superior (PMS), já a posição em 180° é o ponto máximo inferior (PMI). Comumente o PMS é adotado como ponto de início e fim de um ciclo de pedalada.

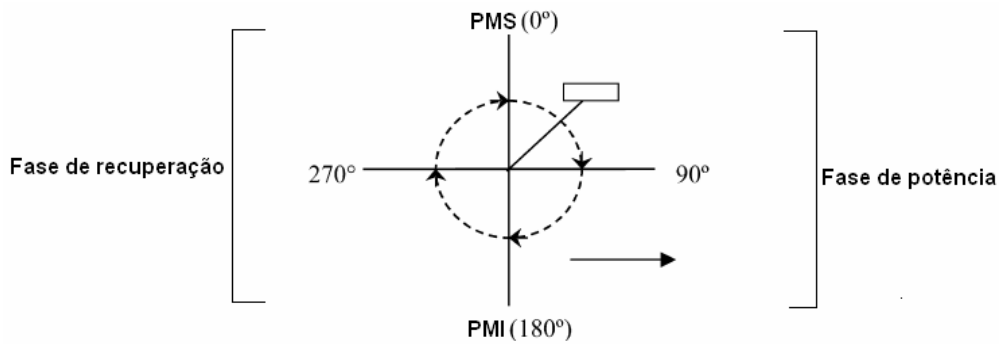


Figura 2.3: Representação esquemática do ciclo de pedalada, adaptado de BAUM & LILI (2003).

A orientação das forças aplicadas aos pedais é parte da técnica de pedalada de ciclistas de elite (GROOT, WELBEGEN & CLIJSEN *et al*, 1994), sendo também uma importante variável para o treinamento no ciclismo, pois de acordo com COYLE, FELTNER, KAUTZ *et al* (1991), alterações na técnica de pedalada podem contribuir para melhorar o limiar de lactato e o desempenho em treinamento contínuo. As principais forças estudadas no pedal são: a força resultante aplicada ao pedal (F_r), a força vertical ou normal (F_y) e a força horizontal ou tangencial (F_x), que são ilustradas na figura 2.4.

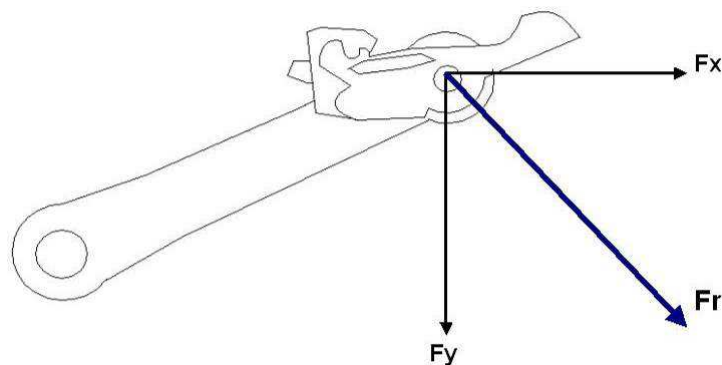


Figura 2.4: Forças exercidas no pedal – plano sagital

As componentes decompostas em função de ângulos do pedal e pé de vela levam a um modelo biomecânico para o estudo das forças. Para este tipo de estudo é adicionada às forças descritas anteriormente mais duas, a componente de força efetiva (F_e), geradora do torque propulsivo e que corresponde a componente da F_r que atua perpendicularmente ao pé de vela e a componente F_i , denominada de força inefetiva que atua no sentido do pé de vela, não contribuindo para o movimento rotatório. As componentes da F_e e F_i são ilustradas na figura 2.5.

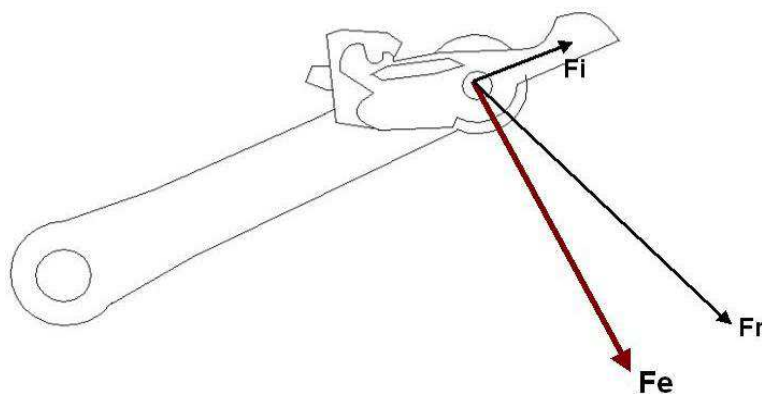


Figura 2.5: Decomposição das forças para análise biomecânica – Plano sagital

A força efetiva é uma variável importante frente a estudos biomecânicos do ciclismo, pois a partir dela e da força resultante (F_r), pode-se calcular a efetividade ou índice de efetividade (IE), que é definido no plano sagital como a razão entre a força efetiva e a força resultante aplicada ao pedal (equação 2.1), DAVIS & HULL (1981), mostrando com isso o quanto o atleta é eficiente na produção de torque (FARIA, 1992).

$$IE = \frac{\int_0^{360} F_e(\alpha) \cdot d\alpha}{\int_0^{360} F_r(\alpha) \cdot d\alpha}$$

Equação 2.1

Além do índice de efetividade, DAVIS & HULL (1981) propuseram outra forma de análise da técnica de pedalada por meio das forças aplicadas aos pedais, denominada como índice de *performance* (IP), que representa a razão entre a força efetiva e a máxima força gerada pelo ciclista (equação 2.2).

$$IP = \frac{F_e}{F_{máx}}$$

Equação 2.2

Estudando o efeito do exercício prolongado de ciclismo, SANDERSON & BLACK (2003), analisaram as forças aplicadas ao pedal e a cinemática das articulações do quadril, joelho e tornozelo durante os três minutos iniciais e finais de um teste de esforço máximo. Os ciclistas estudados apresentaram uma menor efetividade durante a fase de recuperação, o que parece ter influenciado o aumento do pico de torque no final do teste, possivelmente devido à resistência do membro oposta durante a fase de recuperação.

GREGOR (2000) coloca que o pico de força perpendicular à superfície do pedal, ou seja, a força normal é de aproximadamente 60% do peso corporal do indivíduo, sendo essa porcentagem semelhante para todos os ciclistas, desde que por um período consistente, dificilmente excedendo o peso do ciclista, a menos que ele se apóie no guidom.

O mesmo autor explica que embora os ciclistas freqüentemente sintam que estão puxando o pedal durante a recuperação, a puxada do pedal de fato é rara. Segundo GREGOR (2000), puxar o pedal não é essencial para uma técnica eficiente de pedalada no ciclismo, e os ciclistas competitivos reservam essa ação para subidas e arrancadas (também chamadas entre os atletas de “*sprints*”). O autor

afirma ainda que a simetria de força na pedalada seja rara, e serão encontradas constantemente assimetrias entre os membros na força aplicada ao pedal.

No estudo de ÁLVAREZ & VINYOLAS (1996), o valor do pico de força perpendicular à superfície do pedal foi de aproximadamente 74% do peso corporal do indivíduo. Valores superiores ao peso corporal do ciclista foram encontrados por GREGOR, BROKEN & RYAN (1991), onde a magnitude da força vertical alcançou cerca de 70% acima do peso corporal.

O estudo de ERICSON & NISELL (1988), propõe que a força efetiva, tem seu maior valor próximo aos 90° do pé de vela, isto porque ela relaciona-se com a distância horizontal entre o pedal e o pé de vela, ou seja, o braço de força representado pelo comprimento do pé de vela.

A magnitude e a orientação dessas forças no pedal se alteram constantemente durante todo o ciclo da pedalada, conforme a mudança nas posições dos membros inferiores. Como consequência, o estudo da pedalada em uma abordagem tridimensional torna-se bastante complexa. Com esse tipo de análise, RUBY, HULL & HAWKINS (1992), indicam que uma carga em varo é aplicada ao joelho durante a fase de potência na propulsão.

Na fase de propulsão, a resultante das forças no pedal é medial, aproximando-se de uma linha vertical e na fase de recuperação, no momento em que as forças de reação no pedal são baixas, estas aparecem laterais ao joelho, assim o vetor força é medial ao joelho durante a fase de potência, sendo afetada pela altura do selim e, em geral, lateral ao joelho durante a recuperação. A figura 2.6 mostra o gráfico do torque produzido pelo membro inferior direito de um ciclista no início e no final de um exercício simulado de 40 km contra-relógio.

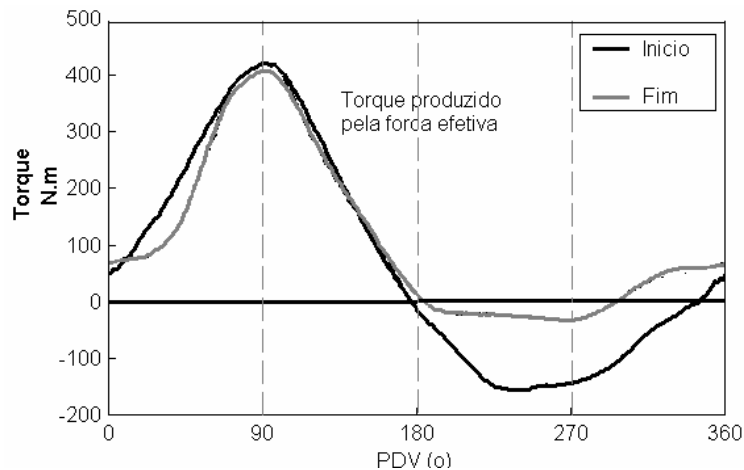


Figura 2.6: Torque produzido durante 40 km contra-relógio simulados em laboratório – Cortesia do Laboratório de Pesquisa do Exercício da UFRGS.

O torque produzido é o principal responsável pela produção de potência. De acordo com COYLE, FELTNER, KAUTZ *et al* (1991), ciclistas de elite preocupam-se em produzir grandes torques durante a fase propulsiva e não se preocupam tanto com o torque produtor (torque positivo) na fase de recuperação.

As assimetrias na produção de torque não são raras (GREGOR, 2000). Para SMACK, NEPTUNE & HULL (1999), a análise da simetria na pedalada é importante por diversas razões, tais como, prevenção de lesões, comportamento das cargas aplicadas às articulações e influência do membro dominante. Neste estudo acerca da assimetria na potência produzida (que está relacionada ao torque), os resultados indicam que embora a assimetria na pedalada ocorra, nem sempre ela é relacionada ao membro dominante (perna de chute) *sic*, além do que os valores apresentam-se bastante flutuantes, variando de 3% para as forças e de 3 a 15% para o trabalho produzido (RUBY, HULL & HAWKINS, 1992).

A distribuição de pressão dentro da sapatilha é outro tema de estudo interessante, mas até o momento pouco investigado. Em 2000, SANDERSON, HENNIG & BLACK relataram que atletas pedalando em diferentes cadências e

diferentes potências apresentaram as maiores pressões localizadas no primeiro metatarso e hálux, sendo estas influenciadas pela força aplicada ao pedal.

Os autores ressaltam também que essa distribuição de pressão pode não estar relacionada com o treinamento, mas sim com uma relação intrínseca entre o pé, o calçado e o pedal. A característica rígida dos solados das sapatilhas de ciclismo contribui para uma melhor distribuição da pressão, mas mesmo nos solados mais rígidos os maiores valores concentram-se nas regiões das cabeças dos metatarsos (SANDERSON & HENNIG, 1993).

2.2 Fisiologia do ciclismo

A fisiologia do exercício estuda como as estruturas e funções do corpo humano são alteradas quando exposto a episódios agudos e crônicos de exercício. A fisiologia do esporte aplica os conceitos da fisiologia do exercício ao treinamento de atletas e à melhora do desempenho esportivo. Frequentemente torna-se difícil fazer distinções entre a fisiologia do exercício e a fisiologia do esporte, por essa razão as duas são consideradas em conjunto (WILMORE & COSTILL, 1999).

O ciclismo competitivo, em trilha ou em estrada, é um esporte fisiologicamente exigente. Tipicamente, as provas se escalonam de uma corrida de velocidade com duração de aproximadamente dez segundos até o *Tour de France*, a prova mais famosa do ciclismo, que dura vinte e três dias. Entre esses extremos, existe uma gama inteira de eventos individuais, emparelhados e em grupo.

Essa vasta escala de distâncias competitivas resulta em atletas que se especializam em eventos específicos com semelhantes exigências de energia

metabólica. Em provas ciclísticas, o ciclista apresenta tipicamente baixa gordura corporal, alta consumo máximo de oxigênio, boa capacidade anaeróbica e forte musculatura de membro inferior. Desse modo, as principais variáveis fisiológicas estudadas são o consumo máximo de oxigênio (VO_2 máx), o limiar anaeróbico, a economia de movimento, a frequência cardíaca, os tipos de fibra muscular e a mecânica muscular do membro inferior (BURKE, 2003; FARIA, 1992).

2.2.1 Consumo máximo de oxigênio

Durante o exercício, o gasto energético pode ser estimado pelo consumo do oxigênio (VO_2). O consumo máximo de oxigênio (VO_2 máx) é definido por FARIA (1992), como a quantia máxima de O_2 que um indivíduo pode usar durante trabalho realizado ao nível do mar.

O VO_2 máx é considerado o melhor indicador da capacidade de resistência cardiorrespiratória e do condicionamento aeróbico, caracterizando a efetiva integração do sistema nervoso, cardiopulmonar e sistemas metabólicos. Como as necessidades individuais de energia variam com o tamanho corporal, o VO_2 máx geralmente é expresso em relação ao peso corporal ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$), o que permite comparações mais precisas entre indivíduos de tamanhos diferentes (DAY, ROSSITER & COATS *et al*, 2003; WILMORE & COSTILL, 1999).

Os valores médios para o consumo máximo de oxigênio para ciclistas masculinos de elite se escalonam de 67,1 a 77,4 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$, e a média para ciclistas femininas é 61 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$, embora isso, estudos sugerem que o papel do VO_2 máx pode ser menos importante do que a experiência em ciclismo competitivo (BURKE, 2003).

Dentre os protocolos utilizados em laboratório para a determinação do VO_2 máx de ciclistas (tipicamente divididos em protocolos de escada – grandes incrementos em longos intervalos – e protocolos de rampa – pequenos incrementos em curtos intervalos), o estudo de AMANN, SUBUDHI & FOSTER (2004), mostrou que não ocorrem diferenças estatisticamente significativas no VO_2 máx entre os diferentes protocolos, já a potência produzida difere, sendo maior em protocolos de rampa.

No ciclismo, FARIA (1992), propõe que o consumo de oxigênio consiste de três componentes: (a) aquele necessário para manter a posição do corpo na bicicleta e manter o trabalho fisiológico; (b) aquele necessário para mover os membros durante o padrão de movimento da pedalada, e (c) aquele necessário para manter a carga resistiva.

Estudo publicado por LUCIA, HOYOS & SANTALA (2002), propôs que ciclistas de alto nível, competidores profissionais em provas de estrada, têm exibido notável adaptação fisiológica ao esforço, tal como habilidade para desempenhos de cerca de uma hora a quase 90% do seu VO_2 máx ou uma grande resistência à fadiga de suas unidades motoras lentas.

Os autores propõem ainda que os resultados reflitam uma das maiores adaptações ao ciclismo de estrada em atletas profissionais, a capacidade de eficiência mecânica em altas intensidades, o que pode ser explicado pelo nível de desempenho. Isso sugere que a grande eficiência em atletas profissionais contribui para a habilidade de manter altas cargas de trabalho por longos períodos como 400 W de potência durante uma hora.

No ciclismo *mountain bike*, realizado em trilhas com terrenos irregulares, a prova de *cross-country* é a mais popular, sendo esporte olímpico desde 1996.

IMPELLIZZERI, SASSI, RODRIGUEZ-ALONSO *et al* (2002) em estudo com 17 ciclistas especialistas em *cross-country* ressaltam valores para VO_2 máx de 75,2 ml.kg⁻¹.min⁻¹ e pico de potência em torno de 367 W.

Os resultados apresentados pelos autores sugerem que as competições de *cross-country* apresentam intensidades maiores que as provas de estrada. Isso pode ser facilmente percebido pela curta duração de competições *cross-country* quando comparadas a provas de estrada.

2.2.2 Simulação de provas em laboratório

Para a realização de provas simuladas em laboratório, o exercício de ciclismo em cicloergômetros têm sido os instrumentos mais utilizados para avaliações biomecânicas e fisiológicas, principalmente pela fácil calibração e possibilidade do uso dos acessórios do próprio atleta, bem como os rolos estacionários e ciclossimuladores, que permitem uma avaliação mais próxima à realidade das provas, com o ciclista utilizando a sua própria bicicleta.

De acordo com GARDNER, STEPHENS, MARTIN *et al* (2004), ciclossimuladores como o SRM *Training System* são fidedignos e indicados para avaliações em laboratório e pista, desde que seguidas as instruções de calibração e utilização fornecidas por seus fabricantes. As simulações de provas ciclísticas em laboratório com uso de cicloergômetros vêm sendo descritas há algum tempo pela literatura (COYLE, COGGAN & HOPPER *et al*, 1988 e COYLE, FELTNER & KAUTZ *et al*, 1991), como bons métodos para a avaliação do desempenho atlético em provas.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo estão descritos todos os procedimentos metodológicos realizados no decorrer das avaliações que forneceram os dados para a realização deste estudo.

3.1 Delineamento da pesquisa

Este estudo caracterizou-se como descritivo, de corte transversal, pois descreveu as alterações nas variáveis analisadas durante um percurso simulado de 40 km de ciclismo no formato contra-relógio.

3.2 Grupo de estudo

O grupo de estudo foi constituído por 05 ciclistas do sexo masculino, atletas de *mountain bike*, na faixa etária dos 18 aos 25 anos, com experiência superior a 5 anos de prática.

Os ciclistas foram convidados intencionalmente, sendo que o requisito para participação no estudo foi participar das etapas do Campeonato Gaúcho de Ciclismo *Cross Country* 2004.

3.3 Instrumentos para coleta dos dados

A seguir são descritos os instrumentos utilizados para a coleta e processamento dos dados coletados neste estudo.

3.3.1 Balança-estadiômetro

A massa corporal e a estatura dos ciclistas foram aferidas por meio de uma balança-estadiômetro da marca *Wellmy*[®], com resolução de 0,1 cm e 0,1 kg na leitura. Os dados foram registrados simultaneamente à aferição em uma planilha eletrônica (Microsoft Excel 2000).

3.3.2 Cicloergômetro SRM

Todos os protocolos de avaliação foram realizados utilizando-se o cicloergômetro *Schoberer Rad Messtechnik, SRM Training System*[®] (*SRM - Science, Welldorf, Germany- www.SRM.de*), previamente validado para as medidas realizadas neste estudo (BALMER, DAVIS, COLEMAN *et al*, 2000; MARTIN, MILIKEN, COBB *et al*, 1998). O SRM possibilita a avaliação de importantes variáveis do desempenho, tais como torque, potência, cadência, frequência cardíaca, tempo de exercício, velocidade e distância percorrida, bem como possibilita a adaptação de acessórios do atleta, dentre eles guidom, selim e pedais além de ajustes geométricos para selim, guidom e pé de vela.

Para isso, o SRM possui um microcomputador acoplado ao guidom, o *Powercontrol IV*, que adquire, mostra e armazena os dados. Desse

microcomputador, um cabo serial foi conectado a um computador *Celeron* 64 MHz, onde através do *Software SRMwin* os valores de potência, cadência, velocidade, temperatura e distância percorrida foram adquiridos continuamente a cada 0,5 segundo durante as avaliações. Com o software, diversas análises podem ser feitas com os dados os quais podem ser também exportados para outros *softwares* como planilhas eletrônicas e pacotes estatísticos.

Através do *Software Ptnews*, o torque gerado pelo ciclista pode ser adquirido durante intervalos de 1 a 30 segundos, de acordo com o objetivo da avaliação. Os dados deste programa são gravados em arquivos de texto e podem ser exportados para planilhas de trabalho e pacotes estatísticos. Os dados gravados pelo *Ptnews* são transmitidos a um computador através da porta paralela, e apresentados quase em tempo real (com uma defasagem de tempo, cerca de 1 segundo).

3.3.2 Analisador metabólico

As variáveis ventilatórias foram mensuradas pelo ergoespirômetro *AeroSport TEEM 100® Metabolic Analyse System*, previamente validado para estes objetivos (NOVITSKY, KATCH, SEGAL, 1995).

Este aparelho permitiu a análise dos valores de trocas gasosas, fornecendo valores de consumo de oxigênio (VO_2), produção de gás carbônico (VCO_2), coeficiente respiratório (RQ), ventilação (VE) entre outras variáveis respiratórias. O avaliado usou uma máscara facial conectada ao equipamento tanto em repouso,

exercício e recuperação durante as avaliações. O TEEM 100 e a máscara facial são representados na figura 3.1.



Figura 3.1: TEEM 100 e posicionamento da máscara facial.

3.4 Procedimentos para a coleta dos dados

Previamente ao período de coleta dos dados os ciclistas intencionalmente convidados assinaram um termo de consentimento informado dos procedimentos, concordando com o uso dos resultados em trabalhos científicos. Após esta etapa, os horários para as visitas e avaliações no Laboratório de Fisiologia do Exercício e *Performance Humana* da UFSM foram agendados. Neste momento os atletas foram questionados quanto a sua dominância de membro inferior, relacionada à perna de chute, de acordo com o protocolo de SMAK, NEPTUNE, HULL (1999).

Para aumentar a fidedignidade da prova simulada os ciclistas realizaram alguns testes similares no laboratório nas semanas precedentes a avaliação da prova simulada, a fim de familiarização com o SRM, conforme indicado por LAURSEN, SHING, JENKINS (2003).

Antes do início das avaliações os protocolos e objetivos foram explicados aos ciclistas. Porém, não foi dito aos ciclistas que a principal variável analisada seria

a produção de torque e a sua simetria, a fim de evitar que os atletas alterassem sua técnica de pedalada em razão da avaliação.

3.5 Protocolos

Foram realizados dois protocolos para a avaliação dos ciclistas, realizados em intervalos de até 48 h em dois dias. Nestes dois dias, os ciclistas compareceram ao Laboratório de Fisiologia do Exercício e Performance Humana do CEFD / UFSM no horário agendado previamente. O SRM foi ajustado pelo atleta de acordo com as dimensões de sua bicicleta. Como os atletas já conheciam o equipamento este procedimento foi realizado rapidamente.

No dia prévio a avaliação recomendou-se aos ciclistas reduzirem suas cargas de treinamento e manter uma dieta normal. No dia das avaliações os atletas trouxeram seus pedais e demais acessórios que julgaram necessários para que os mesmos fossem acoplados ao cicloergômetro.

Por preferência comum entre todos os ciclistas, foi utilizado o mesmo tipo de pedal com clipe (Shimano SPD) e o mesmo comprimento de pé de vela (175 mm).

O ambiente de coleta dos dados junto ao laboratório é apresentado na figura 3.2.

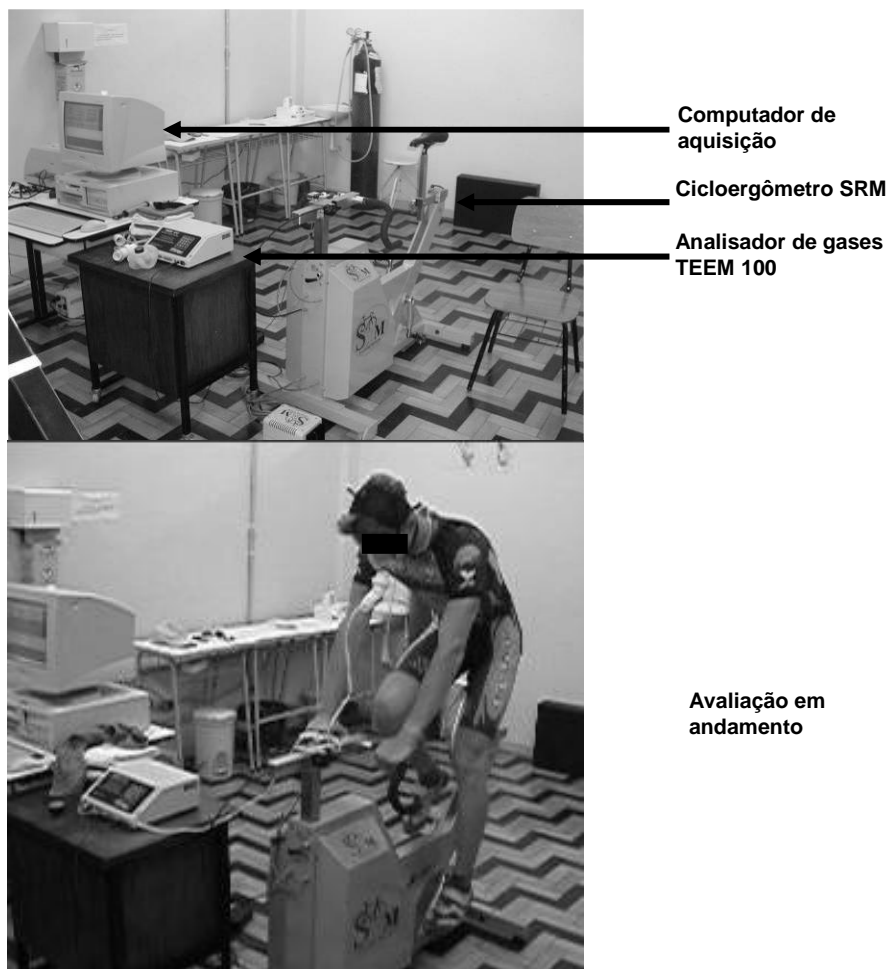


Figura 3.2: Ambiente de coleta dos dados

3.5.1 Dia 1 – Teste progressivo máximo (TM)

No primeiro dia de avaliação, os ciclistas foram submetidos a um teste progressivo máximo (TM), seguindo um protocolo semelhante ao utilizado por HOLDEN, KIMBERLEY, ALLEN (2000) para avaliar ciclistas de *mountain bike*, e também por LUCIA, PARDO, DURÁNTEZ *et al* (1998) para avaliar ciclistas de estrada. Este tipo de protocolo já foi descrito na literatura como indicado para comparações com o desempenho em 40 km (AMMAN, SUBUDHI, FOSTER, *et al*, 2004). O objetivo deste teste foi determinar o consumo máximo de oxigênio e a produção de potência máxima para cada atleta.

A temperatura da sala foi mantida entre 20°C e 24°C. Após um período de 3 minutos em repouso, com o ciclista sentado, o mesmo se posicionou no SRM e o teste foi iniciado, seguindo um modelo de rampa, com carga inicial de 100 W, seguida de incrementos de 25 W a cada minuto até a exaustão voluntária máxima. Durante o teste, os ciclistas foram encorajados a manter uma cadência entre 95 e 110 rpm.

Neste teste, o comportamento do VO_2 , foi analisado e armazenado a cada 20 s pelo TEEM 100, e a potência, velocidade, cadência e distância percorrida foram adquiridas a cada 1 s pelo SRM, conectado a um computador dedicado. Os resultados obtidos neste teste para pico de VO_2 e potência foram utilizados como parâmetro para o segundo dia de avaliação.

A interface do software *SRMwin* configurado para o teste progressivo máximo é apresentada na figura 3.3 com o protocolo descrito acima configurado.

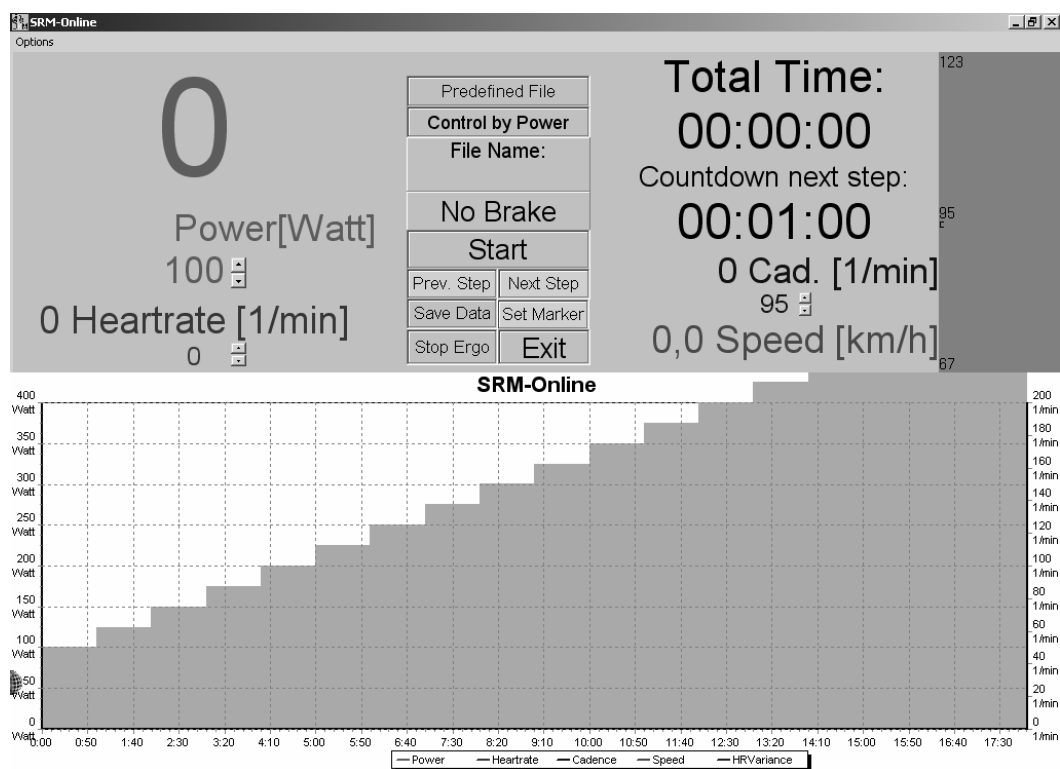


Figura 3.3: Protocolo de avaliação para o teste máximo configurado no SRM.

3.5.2 Dia 2 – 40 km simulados

No segundo dia, o protocolo de avaliação consistiu na realização de uma prova de 40 km simulada no SRM. Durante os 40 km, o ciclista foi encorajado a desenvolver seu ritmo de prova, procurando idealizar a situação real, não sendo solicitada ao atleta qualquer estratégia. Foi permitido ao atleta o *biofeedback* da distância, tempo, potência, cadência e velocidade durante os 40 km, como propõem FOSTER, KONING, HETTING *et al* (2003). Esse biofeedback foi fornecido pelo *Powercontrol IV*. O percurso simulado foi configurado com cadência entre 90 e 110 rpm e produção de potência de 70% da produção máxima de potência.

A interface do software SRMwin configurado para os 40 km é apresentada na figura 3.4.

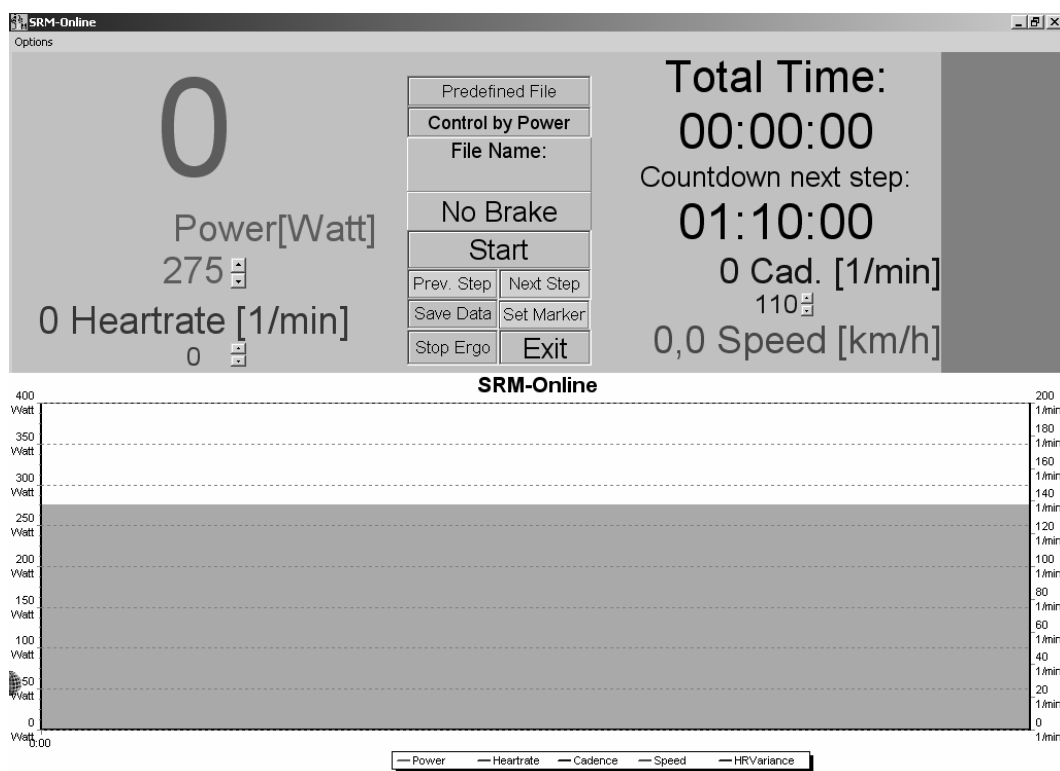


Figura 3.4: Protocolo de avaliação para o teste de 40 km configurado no SRM.

O comportamento do VO_2 foi analisado e armazenado pelo *Aerosport TEEM 100* a cada 40 s; a potência, velocidade, cadência, temperatura e distância percorrida foram adquiridas a cada 0,5 s, além disso, o torque a cada 5 min era medido durante 10 s pelo software *Ptnews*, que estava conectado ao computador dedicado.

De acordo com o proposto pelo Colégio Americano de Medicina do Esporte (ACSM, 2000), foi feita a rehidratação do ciclista com água ao longo do teste, sendo dadas porções de 200 ml ao ciclista sempre que ele solicitasse. Como os ciclistas utilizavam repositores energéticos durante treinamento e competições, essa situação foi mantida na prova simulada. Para isso, no quilômetro 20 (metade da prova), era administrada ao ciclista uma solução comercial a 13% de carboidratos, diluída em água, procedimento este utilizado também por SMITH, DAVISON, BALMER *et al* em 2000.

Nestes momentos, de rehidratação e administração do repositor, a mangueira de ar conectada a máscara facial era retirada, e um canudo era introduzido para que o atleta sorvesse a água e o repositor, conforme ilustra a figura 3.5.



Figura 3.5: Administração do repositor.

Após o final do percurso de 40 km, os ciclistas eram conduzidos a um período de 5 minutos de recuperação, com uma potência e cadência mais baixas (cerca de 100 W e 80 rpm). Procurou-se, logo após o teste, mostrar o comportamento das variáveis para cada ciclista. Posteriormente à coleta dos dados os ciclistas foram convidados a retornar ao laboratório em outro dia, onde os resultados dos testes foram expostos e explicados aos atletas.

3.6 Procedimentos de análise estatística dos resultados

As variáveis de caracterização da amostra, escores encontrados para VO_2 máx, VO_2 , potência, torque, cadência e tempo foram analisados por meio da estatística descritiva, sendo analisada a média e o desvio-padrão para cada minuto (para o teste máximo) e a cada 5 minutos (para a prova simulada).

A análise do torque foi feita a cada 5 minutos durante a prova simulada, onde foram considerados os ciclos do pé de vela adquiridos durante 10 segundos.

Com base em estudos de HULL *et al* (1992), que relata porcentagens de assimetria encontrada em estudos científicos variando entre 3% e 15% para forças e trabalho, este estudo utilizou uma porcentagem de 10% como referência para classificação de simetria ou assimetria. Quando a diferença entre os picos fosse igual ou superior a 10%, a situação era classificada como de assimetria.

Para essa análise levou-se consideração o fato de que diferenças menores que 10% são consideradas naturais, tanto no ciclismo como em outras atividades, como por exemplo, a marcha humana (GREGOR, 2000).

A comparação entre os picos de torque nas parciais de tempo definidas foram feitas por meio de teste t, com nível de significância de 0,05.

A relação entre o torque médio e o pico de torque durante os 40 km foi feita através do teste de Correlação de *Pearson*.

A influência da dominância de membros inferiores foi observada de acordo com as assimetrias relatadas e o membro inferior responsável pelo pico.

Para apresentação gráfica, os dados de torque foram submetidos à FFT (Transformada Rápida de *Fourier*) com frequência de corte de 10 Hz, por meio do *software* Origin Professional 6.0.

Os procedimentos estatísticos foram desenvolvidos nos *softwares* Microsoft Excel 2003 (Microsoft Corp.) e Statistica 5.1 (*Statsoft Inc.*).

3.7 Limitações metodológicas deste estudo

Algumas limitações metodológicas foram encontradas no desenvolvimento deste estudo, e as mais relevantes são expostas a seguir.

Ainda que em Santa Maria residam alguns dos melhores atletas de ciclismo *mountain bike* do Rio Grande do Sul e do Brasil, o apoio ao esporte na região ainda é pequeno, o que desfavorece a seleção de um grupo de estudo mais homogêneo.

Devido à instrumentação utilizada, as variáveis ventilatórias foram adquiridas a cada 40 segundos durante a prova simulada, diminuindo com isso a amostragem, podendo ter subestimado os escores de consumo de oxigênio.

Devido à característica do SRM *Training System*, foi analisado somente o torque propulsivo. Deve-se também relatar que este foi o primeiro trabalho desenvolvido com equipamento na Instituição, o que em um primeiro momento foi um fator limitante devido à inexperiência quanto ao seu funcionamento.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os dados a seguir apresentados são referentes ao teste para o consumo máximo de oxigênio (VO_2 máx) e para o percurso de 40 km simulados em laboratório com o uso do SRM. Os valores estão apresentados em médias e desvios-padrão para o grupo e também individualmente.

4.1 Resultados do teste máximo

De acordo com o proposto por SMITH, DAVISON, BALMER *et al* (2000) e DAY, ROSSITER, COATS *et al* (2003), o valor encontrado para o pico de VO_2 foi considerado como VO_2 máx, devido ao fato do pico ser a medida mais válida para determinação do VO_2 máx e o platô no consumo de oxigênio, comumente definido como o consumo máximo, não estar obrigatoriamente relacionado com o incremento no exercício.

O grupo apresentou idade de 24,4 anos em média, com uma massa corporal e estatura médias de 73,48 kg e 1,81 m. O consumo máximo de oxigênio foi de 55,16 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$, variando de 48,9 a 58,6 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ na média entre os sujeitos.

O consumo máximo de oxigênio correspondeu em média a uma potência máxima de 410 W, semelhante ao encontrado por SANDERSON & BLACK (2003) em estudo com ciclistas durante um teste progressivo máximo. As características do grupo de estudo são apresentadas na tabela 4.1.

Tabela 4.1: Características dos ciclistas do grupo de estudo.

Ciclistas	Idade (anos)	Estatura (m)	Massa corporal (kg)	VO ₂ máx (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	Potência máxima (W)	Dominância
1	18	1,75	53,8	56,6	300	Direita
2	25	1,86	89,4	58,6	475	Esquerda
3	22	1,71	73,4	48,9	400	Esquerda
4	19	1,85	73,2	57,4	475	Direita
5	18	1,89	77,6	54,3	400	Esquerda
<i>M</i>	24,40	1,81	73,48	55,16	410,00	-
<i>dp</i>	3,05	0,08	12,82	3,84	72,02	-

4.2 Resultados do teste de 40 km simulados

Para os resultados obtidos na prova de 40 km simulados a apresentação é feita separadamente, de acordo com intensidade e duração, e características de torque, quanto ao padrão de torque, simetria e dominância de membro inferior.

4.2.1 Intensidade e duração

O teste de 40 km simulados teve a configuração de uma prova, onde o ciclista tem a liberdade de traçar sua estratégia de competição. Procurou-se manter o ambiente de coleta em silêncio e sem muita movimentação, a fim de não interferir na concentração do atleta. Como descrito anteriormente, o ciclista foi reidratado, e no meio da prova (20 km percorridos) foi administrada uma solução comercial para reposição energética (13% de carboidratos diluídos em água). Para ventilação do ambiente de coleta, o ciclista foi posicionado abaixo de um ventilador de teto.

Com relação ao tempo para percorrer os 40 km, observou-se semelhança entre os sujeitos, sendo o tempo médio reportado de 1h 02 min 35 s. Para que a

velocidade não influenciasse os resultados do torque foi mantida uma cadência entre 95 e 110 rpm, desse modo as diferenças no tempo estão relacionadas com a variação na produção de potência.

Durante a prova, a intensidade do exercício mantida em relação ao consumo máximo de oxigênio para o grupo foi 66,33% em média, com uma cadência de 100 RPM em média (variando entre 98 e 106 RPM). Esta cadência está já reportada na literatura como característica dos atletas de ciclismo (BELLUYE & CID, 2001).

Tabela 4.2: Características da prova simulada quanto ao tempo, intensidade e cadência.

Ciclistas	t_{40km} (h:min:s)	% VO₂ 40 km (%VO₂máx)	Cadência preferida (rpm)
1	01:03:40	66,10	100
2	01:02:52	60,14	98
3	01:04:01	69,5	98
4	01:00:19	72,80	106
5	01:02:03	63,12	98
M	01:02:35	66,33	100
dp	00:01:29	5,01	3,46

4.2.2 Padrão de produção de torque

A figura 4.1 ilustra a maneira como foram determinados os picos de torque para cada membro inferior e seus ângulos correspondentes, bem como a assimetria entre os picos.

O pico de torque para o membro direito foi definido pelo torque de maior magnitude desenvolvido entre 0° e 180° do ciclo do pé de vela, sendo o pico de torque para o membro esquerdo o torque de maior magnitude desenvolvido entre 180° e 360°.

A análise da assimetria foi feita em relação ao membro inferior que gerou o maior pico (considerado como 100%), sendo a assimetria analisada a cada 5 minutos, conforme descrito anteriormente.

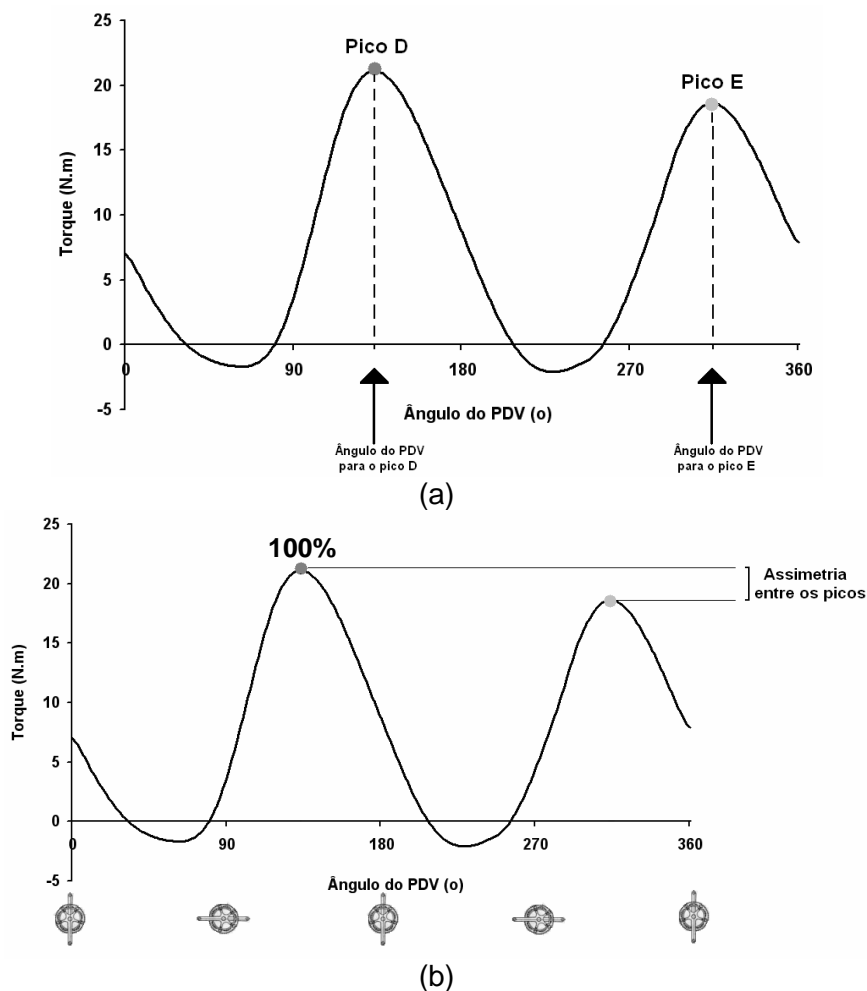


Figura 4.1: (a) Determinação dos picos de torque para o membro direito (D) e esquerdo (E) e (b) a assimetria entre os picos

Na tabela 4.3 são apresentados os picos de torque e o ângulo para o pico de torque para o membro dominante (D) e não dominante (ND) durante a prova de 40 km simulada.

O pico de torque teve diferentes magnitudes entre os ciclistas, sendo observado que estes picos ocorreram sempre no final do percurso (exceto para um ciclista), dentre os 4 quilômetros finais. Dentre os ciclistas foi observada uma grande variabilidade, indicando que a análise deveria ser feita individualmente.

Tabela 4.3: Picos de torque durante os 40 km simulados e ângulo para o pico, para o membro dominante e membro não dominante.

Ciclistas	$T_{\text{pico}} 40 \text{ km (N.m)}$			
	Dominante (D)	Ângulo D (°)	Não Dominante (ND)	Ângulo ND (°)
1	19,36	116	19,16	124
2	27,71	129	25,76	133
3	27,94	129	27,98	122
4	30,83	108	25,76	116
5	24,82	120	23,7	127
M	26,13	120,40	24,47	124,40
<i>dp</i>	4,34	8,96	3,33	6,27

Na tabela 4.4 são apresentados torque médio e o ângulo médio para o pico de torque para o membro dominante (D) e não dominante (ND) durante a prova de 40 km simulada. A magnitude de torque médio mantido durante a prova teve um comportamento semelhante ao observado para os picos, porém foram magnitudes menores. Foi observada uma boa correlação entre o torque médio e o pico de torque durante os 40 km ($r = 0,87$ para o membro dominante e $r = 0,78$ para o membro dominante).

Tabela 4.4: Torque médio e o ângulo médio para o pico de torque produzido pelo membro dominante (D) e não dominante (ND) nos 40 km simulados.

Ciclistas	$T_{\text{médio}} 40 \text{ km (N.m)}$			
	Dominante (D)	Ângulo D	Não Dominante (ND)	Ângulo ND
1	11,08	117	9,27	116
2	20,45	135	21,67	132
3	17,61	125	16,42	126
4	17,84	135	17,37	104
5	15,79	120	14,17	125
M	16,55	126,40	15,78	120,60
<i>dp</i>	3,48	8,35	4,54	10,90

O padrão de produção de torque observado para o grupo é apresentado na figura 4.2, a qual representa a média de todos os sujeitos ao longo dos 40 km, divididos em parciais, sendo elas: parcial 1 (minutos 5, 10, 15), parcial 2 (20, 25, 30), parcial 3 (35, 40, 45) e parcial 4 (50, 55, 60).

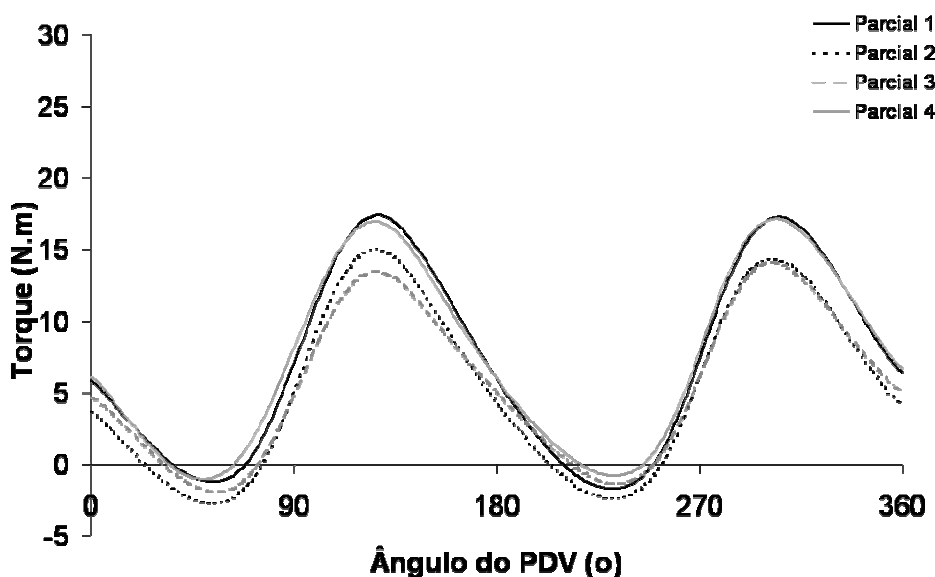


Figura 4.2: Torque produzido pelo grupo a cada 5 minutos

Em 2002, LEPERS, MAFFIULETTI, ROCHETTE *et al*, estudaram relações entre exercício prolongado e fadiga neuromuscular, relatando uma perda na capacidade de produzir força de acordo com o decorrer do exercício em intensidade constante. Para esses autores, a fadiga neuromuscular teve reflexo sobre a geração de torque extensor no joelho.

Neste estudo, quando se observa o comportamento do grupo, percebe-se uma diminuição na produção de torque ao longo do tempo, entretanto, próximo ao final dos 40 km os picos começaram a apresentar uma magnitude maior, resultado provavelmente da característica de aumento de velocidade no trajeto final, na busca do tão conhecido *sprint* final. Neste estudo, observando o comportamento para o

grupo, percebe-se que o pico de torque no final do percurso (parcial 4) foi semelhante ao pico no início da prova (parcial 1).

Entretanto esse comportamento para grupo não foi observado em todos os ciclistas, então se optou por apresentar o comportamento individualmente. Portanto, as figuras 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 ilustram o padrão de produção de torque para cada sujeito ao longo dos 40 km de acordo com as parciais descritas anteriormente.

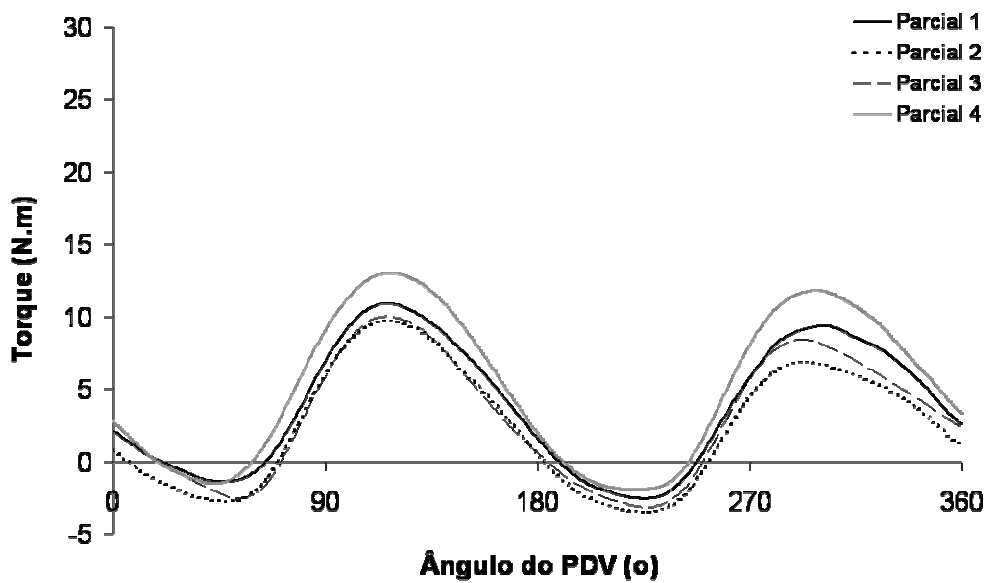
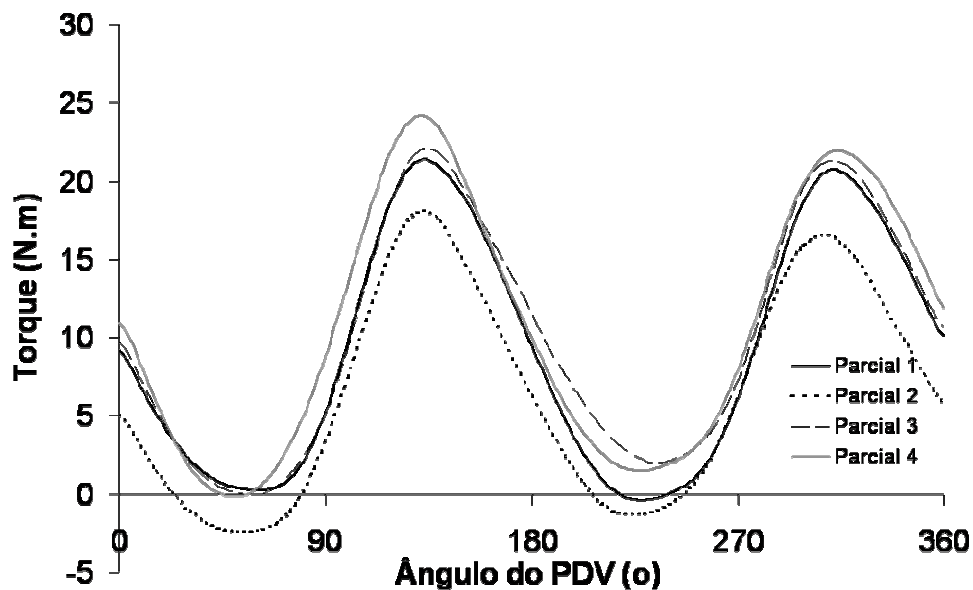


Figura 4.4: Padrão de torque para o ciclista 1.



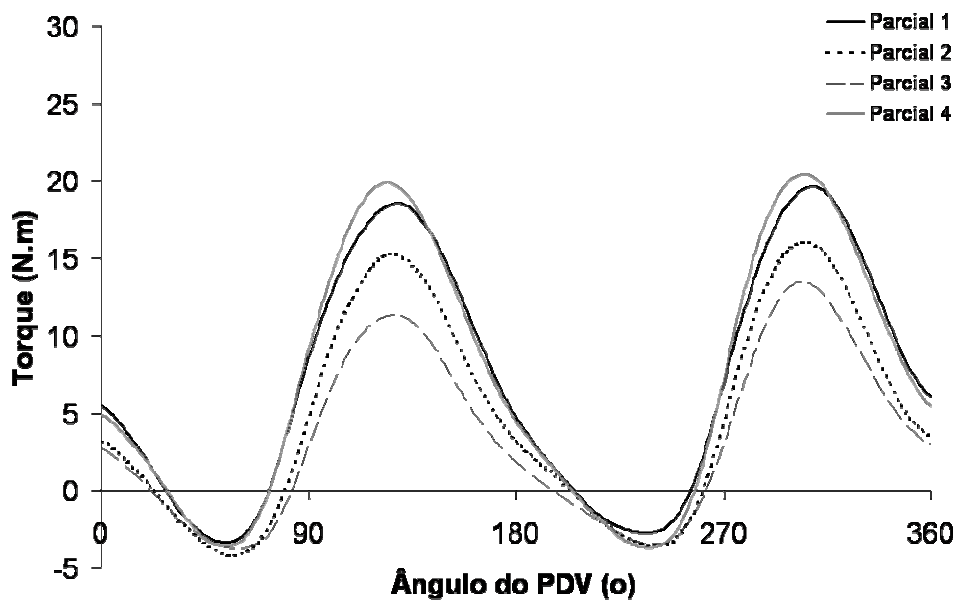


Figura 4.6: Padrão de torque para o ciclista 3.

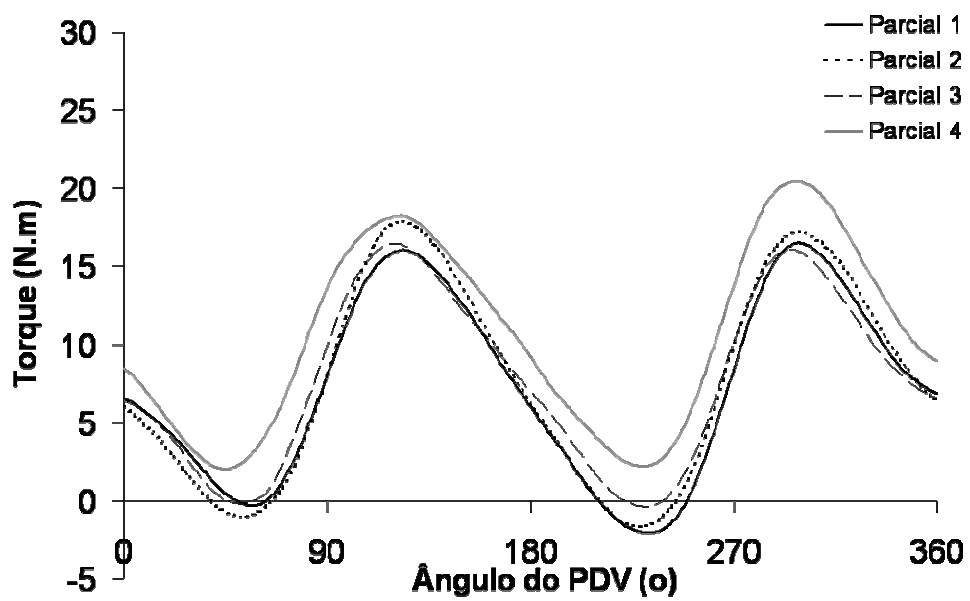


Figura 4.7: Padrão de torque para o ciclista 4.

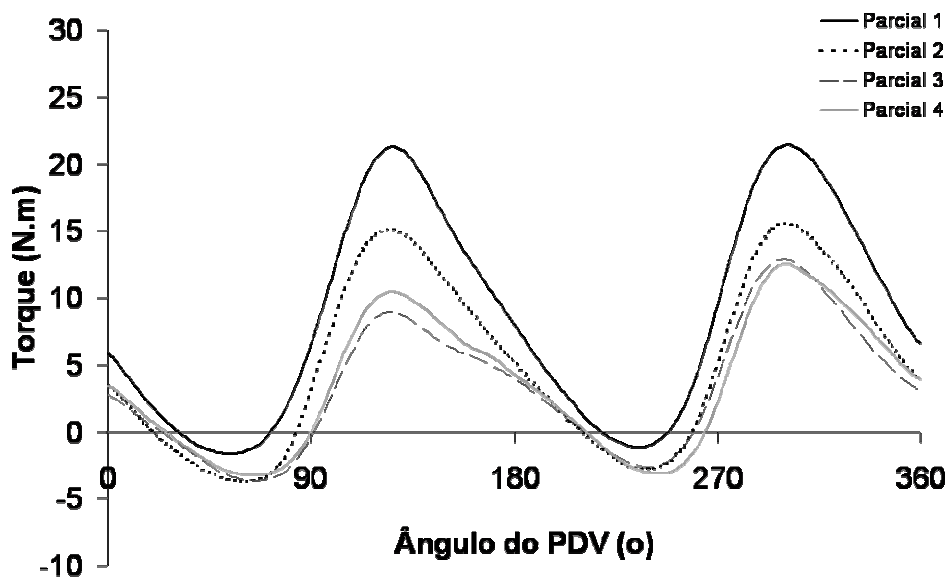


Figura 4.8: Padrão de torque para o ciclista 5.

Com esta análise foi possível observar que houve semelhanças entre os ciclistas, mas embora isso, um padrão determinado para o grupo não foi observado.

A análise individual foi feita comparando-se os picos de torque em cada uma das parciais propostas. A seguir está discutida a análise do torque ao longo das parciais de tempo, sendo exposto também o valor encontrado para o p (probabilidade) no teste estatístico utilizado. p representa a probabilidade da hipótese de diferença nos torques ser rejeitada, ou seja, sempre que o p apresentar um valor menor que 0,05, ou seja, 5%, a hipótese de diferença foi aceita, com um intervalo de confiança de 95%.

Para o ciclista 1, o torque produzido na parcial 4 foi o maior ao longo dos 40 km ($p < 0,01$) e o torque na parcial 1 foi o menor ($p < 0,01$). Os torques nas parciais 2 e 3 diferiram das parciais 1 e 4, entretanto não diferiram entre si ($p = 0,07$). Portanto, observa-se que o ciclista 1 diminuiu a produção de torque na parcial 2 (comparada a parcial 1), manteve a produção de torque na parcial 3, e apresentou uma maior magnitude na parcial 4.

Por outro lado, para o ciclista 2, esse comportamento foi semelhante. No entanto, a partir da parcial 1, o torque diminuiu na parcial 2 ($p < 0,01$). Na parcial 3 o torque foi semelhante ao produzido na parcial 1 no início dos 40 km ($p = 0,09$). No final dos 40 km (parcial 4), o ciclista 2 gerou um torque maior em relação às outras parciais ($p < 0,01$).

O comportamento do torque em relação às parciais analisadas relata que o ciclista 3 apresentou um decréscimo na produção de torque nas parciais 2 e 3 em relação à parcial 1 ($p < 0,01$). Entretanto, na parcial 4, relativa ao final dos 40 km, o ciclista 3 conseguiu aumentar a produção de torque significativamente em relação às parciais 2 e 3 ($p < 0,01$) e mantendo um torque semelhante ($p = 0,92$) à parcial 1. Percebe-se até então as semelhanças entre os ciclistas, onde todos procuraram gerar maiores torques no final do percurso de 40 km, representado pela parcial 4.

O ciclista 4 conseguiu manter uma produção de torque semelhante entre as parciais 1, 2 e 3, que não diferiram estatisticamente. Na parcial 4, o aumento na produção de torque diferiu estatisticamente de todas as outras parciais ($p < 0,01$), estabelecendo a característica que tem sido observada para o grupo.

Com relação ao ciclista 5, o torque produzido na parcial 1 foi estatisticamente diferente, sendo o maior entre todas as parciais, ao contrário do relatado para os outros ciclistas. Na parcial 4, o torque foi semelhante ao produzido na parcial 3. Nota-se que o ciclista 5 não conseguiu gerar o maior torque na parcial 4, final do percurso, entretanto, ele buscou aumentar a produção de torque quando se observa a parcial precedente. Pode-se sugerir que talvez esse ciclista tenha experimentado um processo de fadiga maior em relação aos outros ciclistas.

4.2.3 Análise do torque em relação à simetria

Para SMACK, NEPTUNE & HULL (1999), uma das principais razões em se estudar a simetria é prover bases para o treinamento. Entretanto, esses autores analisaram a relação do membro dominante com a produção de potência.

Neste estudo, avaliou-se a simetria na produção de torque, observando-se que esta ocorreu de forma assistemática entre os ciclistas, corroborando a estudos prévios que já apresentaram grande variabilidade em relação às forças e trabalho dispendido (SARGEANT & DAVIS, 1997; LAFORTUNE, CAVANAGH, VALIANT *et al*, 1989; CAVANAGH, PETAK, SHAPIRO *et al*, 1974).

Como descrito anteriormente, considerou-se como assimétrico o ciclista que apresentasse diferenças entre os membros inferiores que fossem iguais ou superiores a 10% em relação ao membro do pico. A figura 4.9 apresenta a assimetria para o grupo ao longo do tempo para percorrer os 40 km, sendo apresentada a média entre os ciclistas a cada amostra (5 minutos).

Ressalta-se que essa comparação considerou os picos, independente da dominância, haja vista que nem sempre o membro dominante foi o produtor dos torques de maior magnitude.

A análise do grupo indica 3 distintas situações durante os 40 km: do início do percurso até o minuto 20 o grupo apresentou simetria. A partir dos 25 minutos até os 40 minutos, uma assimetria foi observada, para então a partir do minuto 45 até o final do percurso uma simetria ser novamente observada, exceto no minuto 55, que precedeu o *sprint* característico desenvolvido pelos atletas.

Nas figuras, a linha tracejada representa o percentual de limiar para a consideração da assimetria, que foi de 10%.

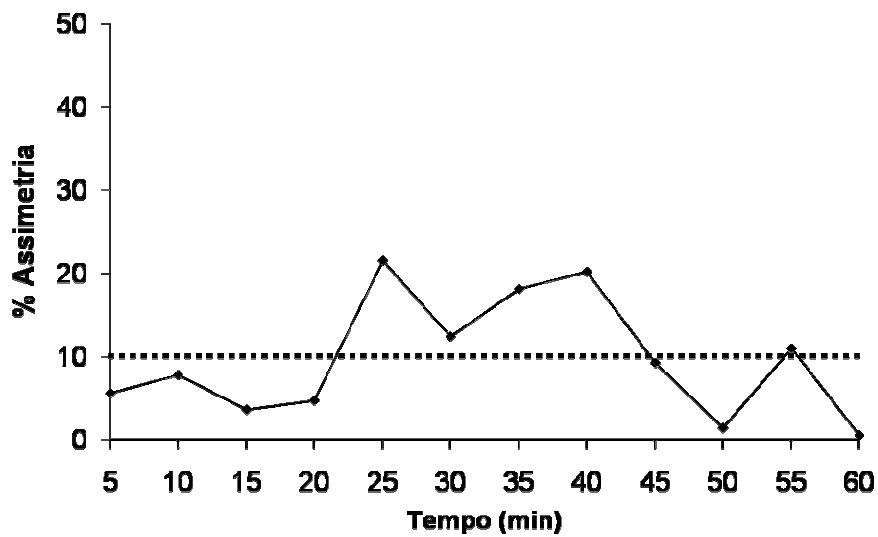


Figura 4.9: Comportamento da assimetria entre os picos – médio do grupo

Esse comportamento observado quando se considera a média entre os sujeitos do grupo de estudo não é encontrado quando se analisa cada ciclista individualmente. Uma análise do grupo de estudo somente iria ocultar as características individuais que foram observadas de modo significativo. Por essa razão, a seguir são apresentados os comportamentos individuais para a assimetria ao longo do tempo no percurso de 40 km simulados.

Na figura 4.10 está apresentado o comportamento para o ciclista 1. Percebe-se que este ciclista apresentou assimetria significativa durante a maior parte da prova, atingindo o maior valor próximo aos 30 min, onde se observou 42,5% de assimetria. No final de prova o ciclista conseguiu diminuir essa assimetria, chegando ao valor não significativo de 1%.

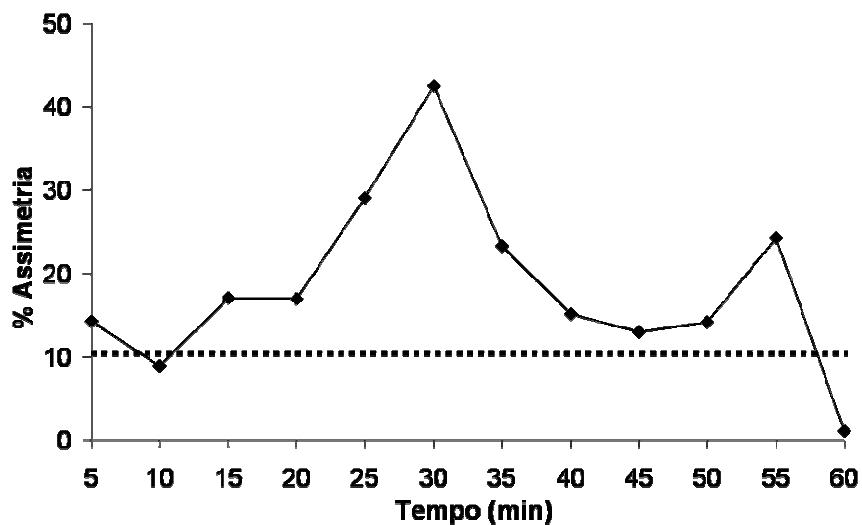


Figura 4.10: Comportamento da assimetria entre os picos para o ciclista 1.

A figura 4.11 ilustra o comportamento da assimetria para o ciclista 2. Este apresentou um padrão bastante irregular em relação à assimetria, tendo sido assimétrico nos minutos 15 (12,12% de assimetria) e 20 (11,98%) e posteriormente nos minutos 40 (10,47%), 45 (15,19%) e 50 (20,60%).

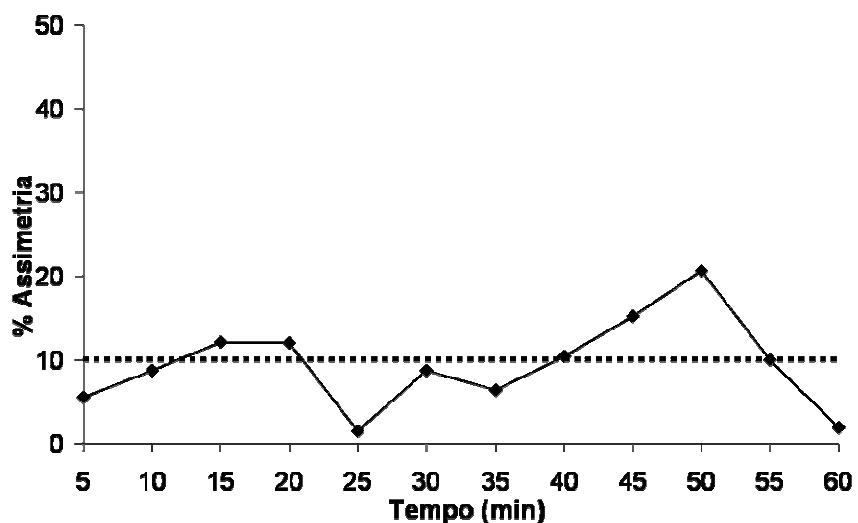


Figura 4.11: Comportamento da assimetria entre os picos para o ciclista 2.

A análise da assimetria de produção de torque no ciclista 3 (figura 4.12) remete a observação de um padrão novamente distinto entre os sujeitos apresentados até o momento. O ciclista 3 apresentou assimetria no minuto 10

(10,4%), conseguindo manter simetria até o minuto 25. A partir disso, observou-se assimetria significativa novamente no minuto 30 (11,8%), 35 (16,6%), 40 (17,2%) e 45 (13,8%). A partir do minuto 50 o ciclista manteve um comportamento simétrico até o fim da prova.

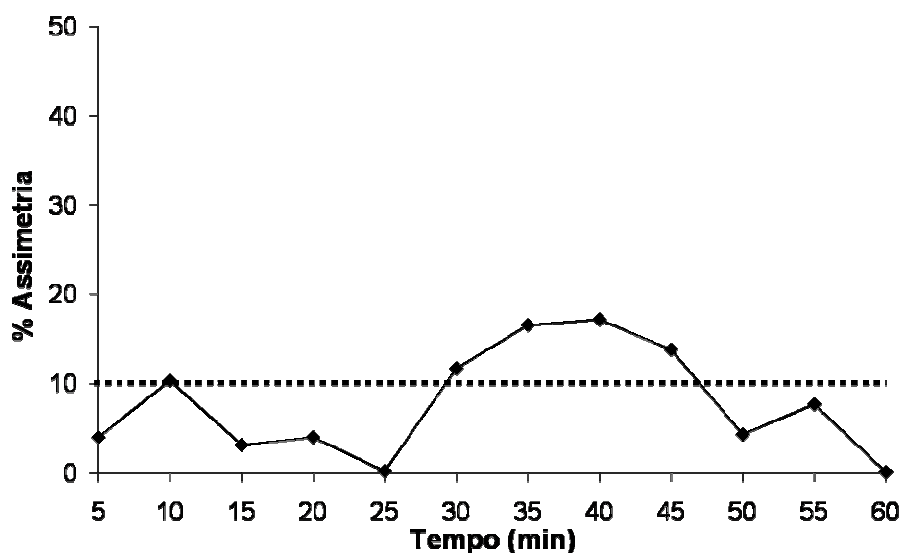


Figura 4.12: Comportamento da assimetria entre os picos para o ciclista 3.

Com a análise da produção de torque para o ciclista 4 (figura 4.13), percebeu-se uma característica alternada de simetria e assimetria. A maior percentual de assimetria entre os membros para este ciclista ocorreu no minuto 25, chegando a 21,4%. Ao contrário do observado nos ciclistas 1, 2 e 3, o ciclista 4 apresentou uma assimetria significativa (16,4%) no final da prova (minuto 60).

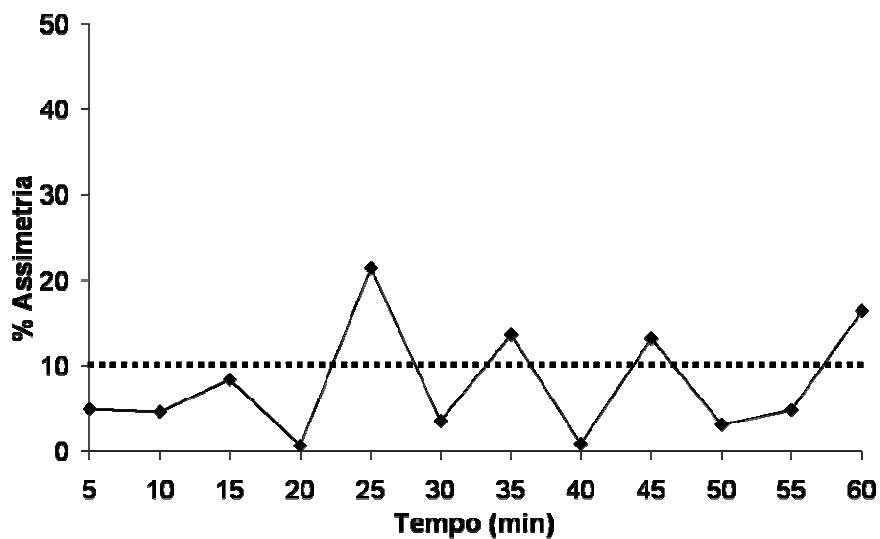


Figura 4.13: Comportamento da assimetria entre os picos para o ciclista 4.

Para o ciclista 5 (figura 4,14), percebeu-se uma clara divisão durante a prova em relação à assimetria. Nos primeiros 30 minutos de exercício, não ocorreram assimetrias significativas, porém, a segunda meia hora apresentou comportamento assimétrico permanente, com um valor máximo de assimetria observado no minuto 40 (40,6%).

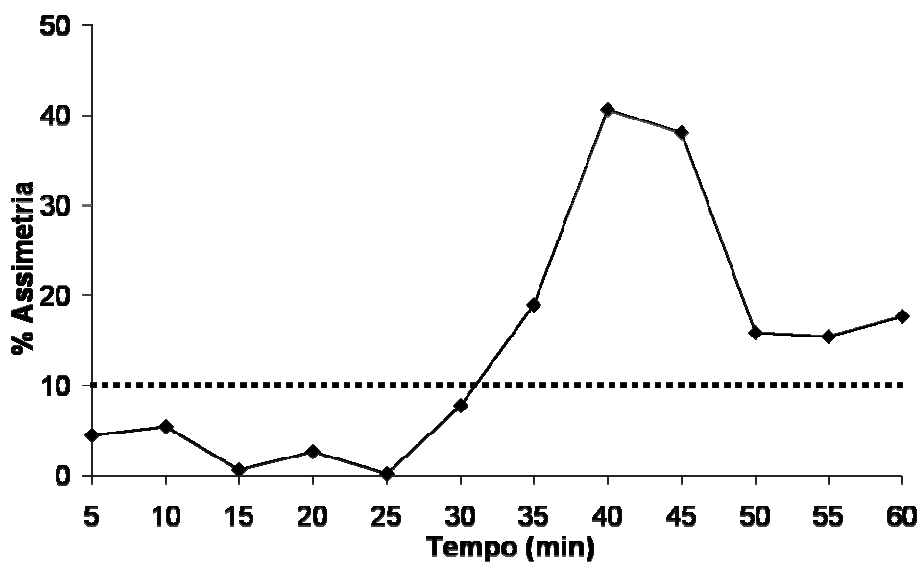


Figura 4.14: Comportamento da assimetria entre os picos para o ciclista 5.

4.2.4 Análise do torque em relação à dominância

Na análise do torque foi observado também o comportamento em relação ao membro dominante. Com essa análise buscou-se verificar se existe relação entre a dominância de membros e a produção de torque propulsivo.

Na figura 4.15 é apresentada a média dos picos de torque entre os ciclistas a cada amostra para o membro dominante e membro não dominante. Com a descrição dessa variável, percebe-se novamente o comportamento da produção de torque ao longo da prova, que decresceu até próximo do fim, para então os maiores picos serem observados. A análise do grupo mostrou que o membro dominante foi sempre o responsável pelo pico de torque quando a assimetria foi observada de modo significativo.

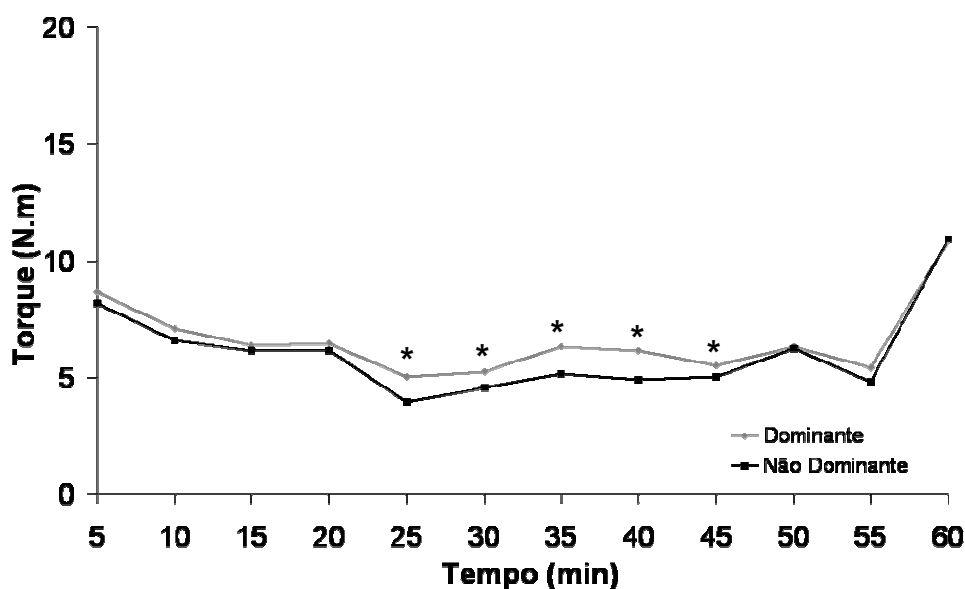


Figura 4.15: Comportamento dos picos em relação ao membro dominante e não dominante – análise do grupo.

* Assimetria observada, com o membro dominante produzindo o maior torque

A seguir é apresentada a análise individual acerca do comportamento do membro dominante e não dominante em relação à produção de torque. Para o

ciclista 1, percebe-se, de acordo com o apresentado na figura 4.16, que o membro dominante produz um torque maior em relação ao membro não dominante sempre que uma assimetria foi verificada, seguindo uma tendência observada para o grupo.

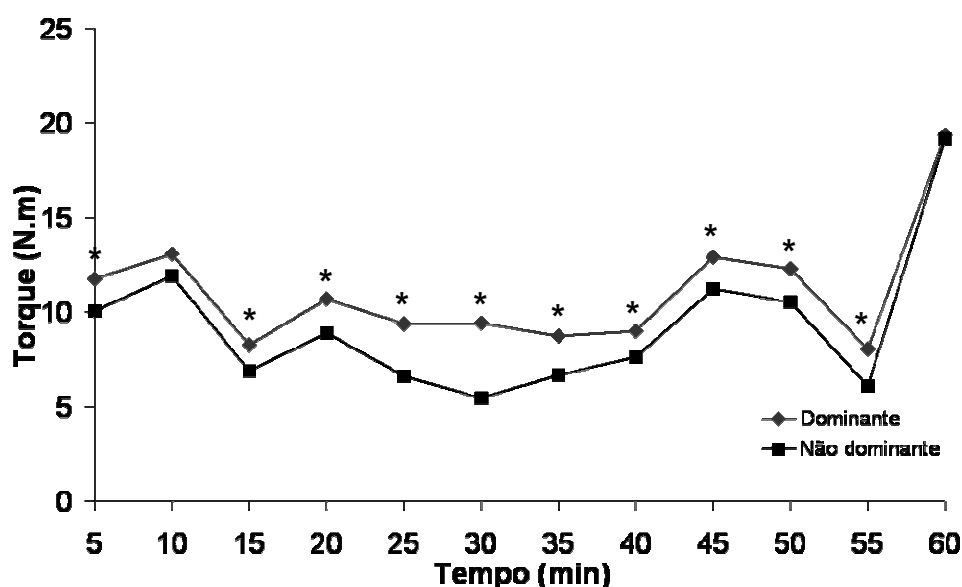


Figura 4.16: Comportamento dos picos em relação ao membro dominante e não dominante para o ciclista 1.

* Assimetria observada, com o membro dominante produzindo o maior torque

A mesma análise, agora para o ciclista 2 (figura 4.17), mostra um comportamento mais irregular, que se afastou do observado para o grupo. Observou-se, para este, que quando a assimetria foi verificada, somente em um ponto (minuto 40) o membro dominante gerou o pico de torque. Em todos os outros pontos de assimetria o membro não dominante foi o responsável pelo pico.

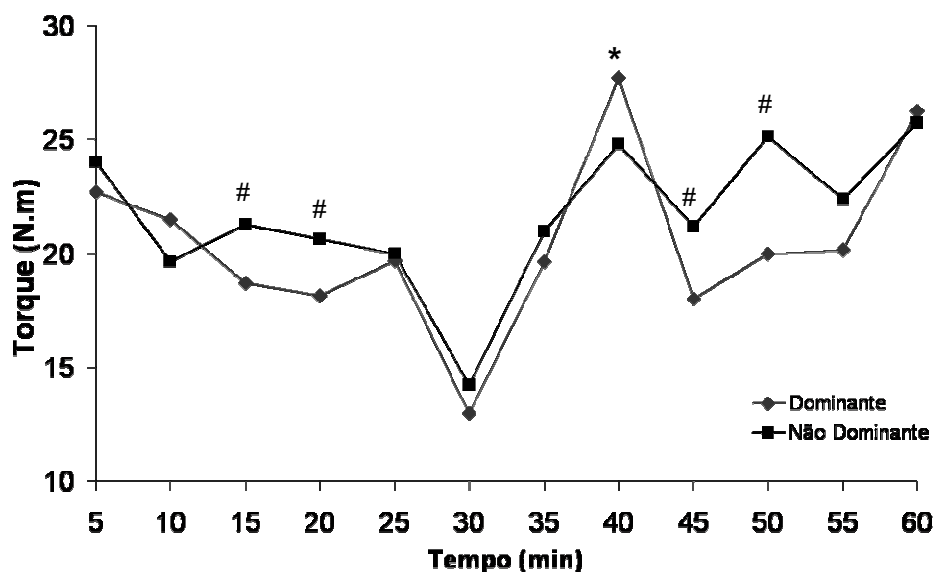


Figura 4.17: Comportamento dos picos em relação ao membro dominante e não dominante para o ciclista 2.

* Assimetria observada, com o membro dominante produzindo o maior torque

Assimetria observada, com o membro não dominante produzindo o maior torque

Com relação ao ciclista 3 (figura 4.18), observou-se novamente o padrão encontrado para o grupo. O membro dominante foi o produtor dos picos de maior magnitude sempre que assimetrias foram verificadas.

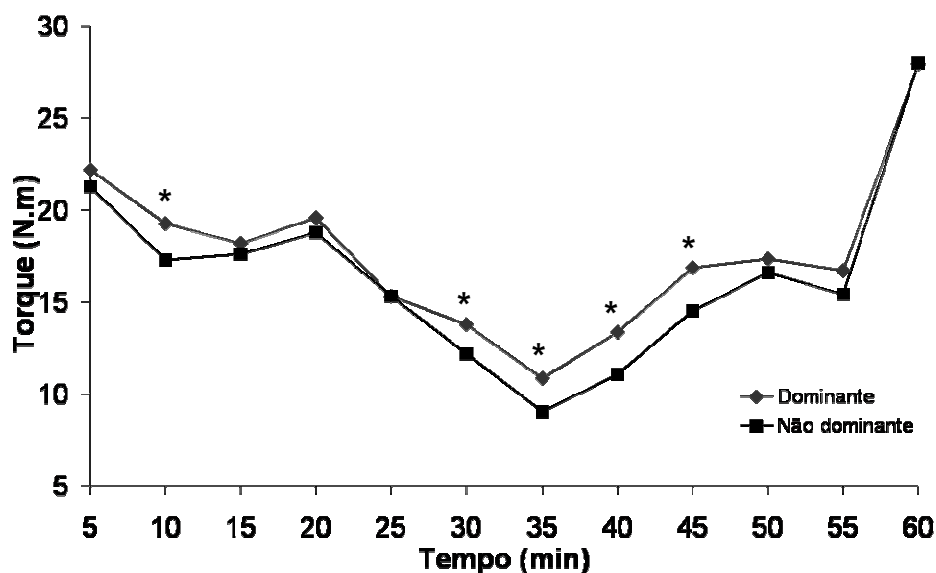


Figura 4.18: Comportamento dos picos em relação ao membro dominante e não dominante para o ciclista 3.

* Assimetria observada, com o membro dominante produzindo o maior torque

O ciclista 4 (figura 4.19) apresentou um padrão semelhante observado para o grupo, entretanto uma particularidade foi percebida. Em um ponto (minuto 45) a assimetria observada relata que o pico de torque foi produzido pelo membro não dominante, sendo todos os outros pontos de assimetria com pico produzido pelo membro dominante.

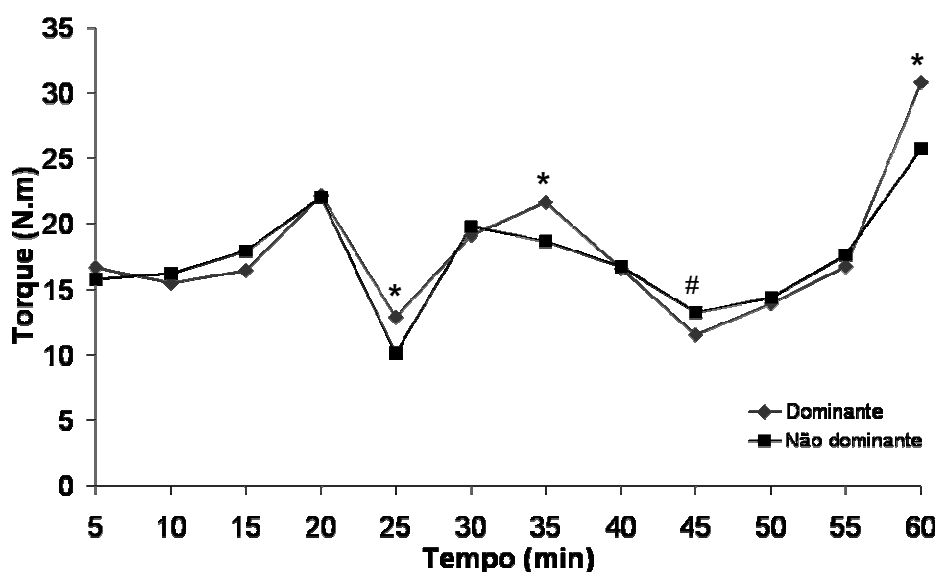


Figura 4.19: Comportamento dos picos em relação ao membro dominante e não dominante para o ciclista 4.

* Assimetria observada, com o membro dominante produzindo o maior torque

Assimetria observada, com o membro não dominante produzindo o maior torque

Com relação ao ciclista 5 (figura 4.20) observou-se que o pico de torque diminuiu ao longo do percurso, sendo que no final do percurso, onde os outros ciclistas apresentaram os maiores picos, o ciclista 3 apenas manteve o torque produzido na amostra anterior. Para esse ciclista observou-se que o membro dominante foi o principal produtor de torque sempre que a assimetria foi observada.

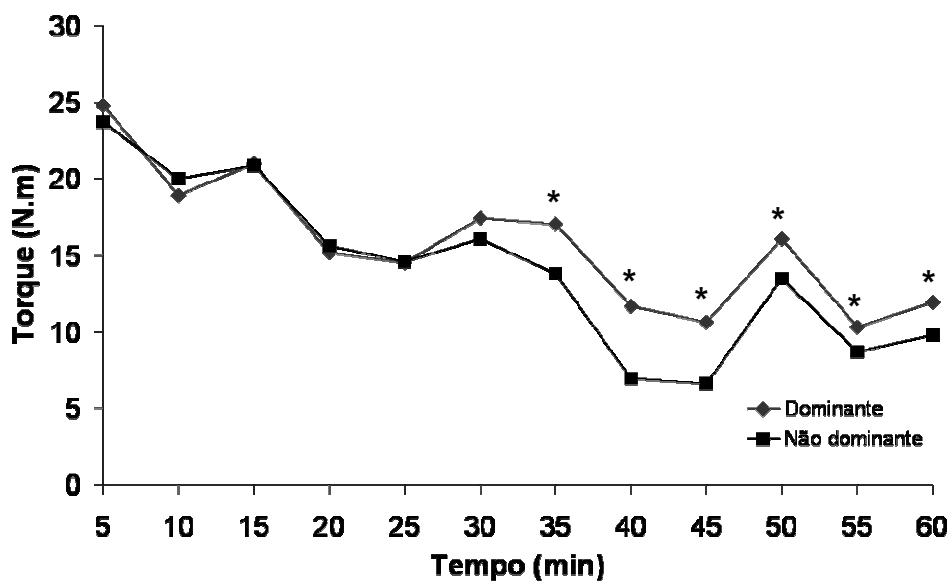


Figura 4.20: Comportamento dos picos em relação ao membro dominante e não dominante para o ciclista 5.

* Assimetria observada, com o membro dominante produzindo o maior torque

Existem diversos estudos acerca de provas simuladas em laboratório e sua relação com testes progressivos máximos e desempenho humano (LAURSEN, SHING, JENKINS, 2003; JEUKENDRUP, MARTIN, 2001; SMITH, DAVISON, BALMER *et al*, 2000), entretanto, dentre a vasta literatura científica existente, não foi reportado nenhum trabalho que tenha investigado relações entre simetria, dominância de membros e exercício prolongado. Com isto, este estudo deu enfoque a essas variáveis e suas inter-relações, não sendo possíveis muitas relações diretas com outros trabalhos.

5 CONCLUSÕES E DIREÇÕES FUTURAS

Inicialmente é importante salientar que este estudo, por ser o primeiro a relacionar o torque propulsivo no ciclismo em uma prova simulada de longa distância com a dominância de membros inferiores e simetria, por si só já foi um fator motivante para seu desenvolvimento, entretanto a originalidade e o ineditismo de seus objetivos limitaram a discussão dos resultados e possibilitaram o futuro desenvolvimento de muitos outros estudos relacionados a esta linha de pesquisa.

Após a análise dos resultados, podem-se prover algumas conclusões acerca do grupo estudado:

Com relação à produção de torque ao longo do tempo para percorrer os 40 km simulados, observou uma característica de maiores picos no final do percurso, relacionada possivelmente a característica de aumento de intensidade e velocidade no final de provas ciclísticas deste tipo, o que não ocorreu apenas para um ciclista.

Por outro lado, quanto à simetria nos picos de torque, analisada a cada 5 minutos, observou-se que esta não se mostrou constante, sendo observados diferentes comportamentos entre os ciclistas estudados ao longo do percurso de 40 km, mostrando que os ciclistas do grupo estudado possuem a característica de assimetria, porém uma relação com o tempo de exercício não se apresentou de uma maneira clara entre os ciclistas.

Com relação à intensidade do exercício, os resultados instigam que a mesma pareceu não ser um fator determinante da assimetria na produção de torque para o grupo estudado, haja vista que entre os ciclistas, as assimetrias significativas não ocorreram em períodos de tempo perfeitamente semelhantes.

Com relação à dominância de membros inferiores, salvo exceção de um sujeito, observou-se que quando assimetrias significativas eram observadas, a mesma era relacionada ao membro dominante, que produziu os maiores picos, reforçando a idéia de que o membro inferior dominante pode exercer um esforço maior durante o exercício quando comparado ao membro não dominante e que avaliações deste tipo não podem desconsiderar essa questão.

Essa conclusão em relação à assimetria ressalta a importância e influência da dominância, principalmente no que diz respeito a avaliações que consideram apenas um dos membros para análise.

Para estudos futuros sugere-se unir a capacidade de simular provas do SRM a um sistema de pedais instrumentados, possibilitando a medida do torque nas fases de propulsão e recuperação, as forças atuantes no pedal, e a potência produzida em cada membro inferior, fornecendo bases maiores para análise da técnica de pedalada.

Sugere-se também verificar da simetria relação à dominância sobre outras características biomecânicas, tais como a cinemática do membro inferior.

6 REFERÊNCIAS

ACSM; ADA; DC. Nutrition and Athletic Performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.32, n.12, p:2130-2145. 2000.

ACKLAND, G. J. & BUTLER, D. Pack formation in cycling and orienteering. **NATURE**. v. 413, p:127. 2001.

AMANN, M.; SUBUDHI, A. & FOSTER, C. Influence of testing protocol on ventilatory thresholds and cycling performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v. 36, n.4, p:613-622. 2004.

ÁLVAREZ, G. & VINYOLAS, J. A new bicycle pedal design for on-road measurements of cycling forces. **Journal of Applied Biomechanics**. v.12, n.1, p: 131-142. 1996.

BALMER, J.; DAVIS, R. C.; COLEMAN, D. A.; BIRD, S. R. The validity of power output recorded during exercise performance tests using a Kingcycle air-braked cycle ergometer when compared with an SRM powermeter. **International Journal of Sports Medicine**. v.21, p:195-199. 2000.

BAUM, B. S. & Li, L. Lower extremity activities during cycling are influenced by load and frequency. **Journal of Electromyography and Kinesiology**. 13, p:181-190. 2003.

BELLUYE, N. & CID, M. Approche biomécanique du cyclisme moderne, données de la littérature. **Science and Sports**. v.16, p : 81-87. 2001.

BENTLEY, D. J.; McNAUGHTON, L. R.; THOMPSON, D.; VLECK, V. E.; BATTERHAM, A. M. Peak power output, the lactate threshold and time-trial performance in cyclists. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.33, n.12, p:2077-2081. 2001.

BRESSEL, E. & LARSON, J. Bicycle seat designs and their effect on pelvic angle, trunk angle and comfort. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.35, n.2, p:327-332. 2003.

BRISWALTER, J.; HAUSSWIRTH, C.; SMITH, D.; VERCRUYSSSEN, F. & VALLIER, J. M. Energetically optimal cadence vs. freely-chosen cadence during cycling: effect of exercise duration. **International Journal of Sports Medicine**, v.2, p:60-64. 2000.

BROOKS, G. & MERCIER, J. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the "crossover" concept. **Journal of Applied Physiology**. 76, p: 2253-2261. 1994.

BURKE, E. R. Fisiologia do ciclismo. In: **A Ciência do exercício e dos esportes**. Porto Alegre: Artmed. p:745-757. 2003.

CARPES, F. P.; ROSSATO, M.; dos SANTOS, J. O. L.; STEFANI, C.; RODRIGUES, J.; PORTELA, L. O. C.; MOTA, C. B. Correlação entre cinemática frontal do joelho de ciclistas e diferentes percentuais do VO₂ máx. **Edição Especial da Revista Brasileira de Ciência e Movimento**. p: 198. 2004.

CAVANAGH, P. R.; PETAK, K. L.; SHAPIRO, R.; DALY, D. Bilateral asymmetry in work output during cycling ergometer pedaling. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.6, 80-81. 1974.

CHAUDHARI, A. M.; DYRBY, C. O. & ANDRIACCHI, T. P. Dynamic changes in anterior/posterior translation and internal/external rotation of the knee during cycling. **Stanford Biomotion Laboratory, Stanford, CA, USA**. Disponível em <<http://www.biomotion.stanford.edu>> acesso em 20 de maio de 2004, 21:45h.

CHAVARREN, J. & CALBET, J. A. L. Cycling efficiency and pedaling frequency in road cyclists. **European Journal of Applied Physiology**. 80, p:555-563. 1999.

COYLE, E. F.; COGGAN, A. R.; HOPPER, M. K. & WALTERS, T. J. Determinants of endurance in well-trained cyclists. **Journal of Applied Physiology**. 64, p:2622-2630. 1988.

COYLE, E. F.; FELTNER, M. E.; KAUTZ, S. A.; HAMILTON, M. T.; MOUNTAIN, S. J.; BAYLOR, A. M.; ABRAHAM, L. D. & PETREK, G. W. Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.23, n.1, p:93-107. 1991.

DAY, J. R.; ROSSITER, H. B.; COATS, E. M.; SKASICK, A. & WHIPP, B. J. The maximally attainable VO₂ during exercise in humans: the peak versus maximum issue. **Journal of Applied Physiology**. 95, p:1901-1907. 2003.

DAVIS, R. R. & HULL, M. L. Measurement of pedal loading in bicycling: II. Analysis and results. **Journal of Biomechanics**. v.14. p:857-872. 1981.

DIEFENTHAELER, F. Proposta metodológica para avaliação de diferentes posições do selim sobre a técnica de pedalada de ciclistas. Dissertação de Mestrado - UFRGS 2004.

DONSKOI, D. & ZATSIORSKY, V. **Biomecânica de los ejercicios físicos**. Moscou: Madrugada. 1988.

ERICSON, M. O. & NISELL, R. Efficiency of pedal forces during ergometer cycling. **International Journal of Sports Medicine**. v.9, n.2, p:118-122. 1988.

FARIA, I. E. & CAVANAGH, P. R. **The physiology and biomechanics of cycling** - ACSM series. New York: John Wiley & Sons, 1978.

FARIA, I. E. Energy expenditure, aerodynamics and medical problems in cycling. **Sports Medicine**. v.14, p:43-63. 1992.

FERNANDEZ-GARCIA, B.; TERRADOS, N.; PÉREZ-LANDALUCE, J. & RODRIGUEZ-ALONSO, M. Intensity of exercise during road race pro-cycling competition. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.32, n.5, p:1002-1006. 2000.

FOSTER, C.; KONING, J. J.; HETTINGA, F.; LAMPEN, J.; LACLAIR, K. L.; DODGE, C.; BOBERT, M.; PORCARI, J. P. Pattern of energy expenditure during simulated competition. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.35, n.5, p:826-831. 2003.

GARDNER, A. S.; STEPHENS, S.; MARTIN, D. T.; LAWTON, E.; LEE, H.; JENKINS, D. Accuracy of SRM and Power Tap Power monitoring system for bicycling. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v. 36 n.7 p:1252-1258. 2004

GARRICK, J. G. & WEBB, D. R. **Sports Injuries**: diagnosis and management. 2. ed. W. B. Saunders Company. 1999.

GRAPPE, F.; CANDAU, R.; BUSO, T. & ROUILLON, J. D. Effect of cycling position on ventilatory and metabolic variables. **International Journal of Sports Medicine**. 19, p:336-341. 1998.

GREGERSEN, C. S. & HULL, M. L. Non-driving intersegmental knee moments in cycling computed using a model that includes three-dimensional kinematics of the shank/foot and the effect of simplifying assumptions. **Journal of Biomechanics**. 36, p:803-813. 2003.

GREGOR, R. J. Biomechanics of cycling. In: GERRET, W. E. & KIRKENDAL, D. T. **Exercise and Sport Science**. Philadelphia – EUA: Lippincott Williams & Wilkins, 2000.

GREGOR, R. J.; BROKER, J. P. & RYAN, M. M. The biomechanics of cycling. **Exercise and Sports Science Reviews**. v.19, p:127-169. 1991.

GROOT, de G.; WELBERGEN, E.; CLIJSEN, L.; CLARIJS, J.; CABRI, J. & ANTONIS, J. Power, muscular work and external forces in cycling. **Ergonomics**. v.37, n.1, p:31-42. 1994.

HINTZY, F.; BELLI, A.; GRAPPE, F. & ROUILLION, J. D. Effet de l'utilisation de pédales mécaniques mesurées lors de sprints sur cycloergomètre non isocinétique. **Science & Sports**. 14, p:137-144. 1999.

HOLDEN, S-H. M.; KIMBERLEY, J. H.; ALLEN, P. J. Effects of front and dual suspension mountain bike system on uphill cycling performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.32, n.7, p:1274-1280. 2000.

HAWLEY, J. A.; NOAKES, T. D. Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. **European Journal of Applied Physiology**. 65, p:79-83. 1992.

IMPELLIZZERI, F., SASSI, A., RODRIGUEZ-ALONSO, M., MOGNONI, P., & MARCORA, S. Exercise intensity during off-road cycling competitions. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.34, p: 1808-1813, 2002.

JEUKENDRUP, A. E.; MARTIN, J. Improving cycling performance: how should we spend our time and money. **Sports Medicine**. 31, p:559-569. 2001.

KUIPERS, H.; VERSTAPPEN, F. T. J.; KEIZER, P.; GEURTEN, P.; VAN KRANENBURG, G. Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. **International Journal of Sports Medicine**. 6, p:197-201. 1985.

LAFORTUNE, M. A.; CAVANAGH, P. R.; VALIANT, G. A.; BURKE, E. R. A study of the riding mechanics of elite cyclists. **Proceedings of the American Society of Biomechanics**. P:113. 1989.

LAURSEN, P. B.; SHING, C. M.; JENKINS, D. G. Reproducibility of a laboratory-based 40 km cycle time trial on a stationary wind-trainer in highly trained cyclists. **International Journal of Sports Medicine**. V.24, p:481-485. 2003.

LEPERS, R.; MAFFIULETTI, N. A.; ROCHETTE, L.; BRUGNIAUX, J. & MILLET, G. Y. Neuromuscular fatigue during a long-duration cycling exercise. **Journal of Applied Physiology**. 92, p:1487-1493. 2002.

LINDSAY, F. H.; HAWLEY, J. A.; MYBURGH, K. H.; SCHOMER, H. H.; NOAKES, T. D. Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 28, p:1427-1434. 1996.

LUCIA, A.; HOYOS, J. & CHICHARRO, J. L. Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.32, n.10, p:1777-1782. 2000.

LUCIA, A.; HOYOS, J. & CHICHARRO, J. L. Preferred pedalling cadence in professional cycling. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.33, n.8, p:1361-1366. 2001.

LÚCIA, A.; HOYOS, J.; SANTALLA, A.; PÉREZ, M. & CHICHARRO, J. L. Kinetics of VO₂ in professional cyclists. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.34, n.2, p:320-325. 2002.

LUCIA, A.; PARDO, J.; DURÁNTEZ, A.; HOYOS, J. & CHICHARRO, J. L. Physiological differences between professional and elite road cyclists. **Internacional Journal of Sports Medicine**. 19, p:342-348. 1998.

MARTIN, J. C.; MILIKEN, D. L.; COBB, J. E.; McFADDEN, K. L.; COGGAN, A. R. Validation of a mathematical model for road cycling power. **Journal of Applied Biomechanics**. v.14, p:276-291. 1998.

McCOY, R. W. & GREGOR, R. J. The effect of varying seat position on knee loads during cycling. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.21, s:79. 1989.

MILLET, G. Y.; MILLET, G. P.; LATTIER, G. MAFFIULETTI, N. A. & CANDAU, R. Alterations of neuromuscular function after a prolonged road cycling race. **International Journal of Sports Medicine**. 24, p:190-194. 2003.

NOVITSKY, S.; KATCH, V. L.; SEGAL, K. Validity of the TEEM 100 metabolic analyzer. **European Journal of Applied Physiology**. 70, p:104-110, 1995.

NEPTUNE RR, KAUTZ AS & HULL ML. The effect of pedaling rate on coordination in cycling. **Journal of Biomechanics**., v.30, n.10, p:1051-1058. 1997.

NEUMAYER, G.; GÄNZER, H.; STURM, W.; PFISTER, R.; MITTERBAUER, G. & HÖRTNAGL, H. Physiological effects of an ultra-cycle ride in an amateur athlete – a case report. **Journal of Sports Science and Medicine**. 1, p:20-26. 2002.

NEUMAYER, G.; PFISTER, R.; MITTERBAUER G.; GAENZER, H.; STURM, W.; EIBL, G. & HOERTNAGL, H. Exercise intensity of cycle-touring events. **International Journal of Sports Medicine**. v.23, p:505-509. 2002.

PADILLA, S.; MUJICA, I.; ORBAÑANOS & ANGULO, F. Exercise intensity during competitions time-trials in professional road cycling. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.32, n.4, p:850-856. 2000.

PASSFIELD, L. & DOUST, J. H. Changes in cycling efficiency and performance after endurance exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.32, n.11, p:1935-1941. 2000.

POWERS, S. K. & HOWLEY, E. T. **Fisiologia do exercício: teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho**. São Paulo: Manole. 2000.

RUBY, P.; HULL, M. L. & HAWKINS, D. Three dimensional knee loading during seated cycling. **Journal of Biomechanics**. v.25, p:41-53. 1992.

SANDERSON, D. J. & BLACK, A. The effect of prolonged cycling on pedal forces. **Journal of Sports Science**. v.21, n.3, p:191-199. 2003.

SANDERSON, D. J. & HENNIG, E. M. In-shoe pressure distribution in cycling and running shoes during steady-rate cycling. **Journal of Biomechanics**. v.23, n.3, p:318. 1993.

SANDERSON, D. J.; HENNIG, E. M. & BLACK, A. H. The influence of cadence and power output on force application and in-shoe pressure distribution during cycling by competitive and recreational cyclists. **Journal of Sports Science**. v.18, n.13, p:173-181. 2000.

SARGENT, A. J.; DAVIES, C. T. M. Forces applied to the cranks of a bicycle ergometer during one and two-legged pedaling. **Journal of Applied Physiology**. V.42, p:514-518. 1977.

SMAK, W.; NEPTUNE, R. R.; HULL, M. L. The influence of pedaling rate on bilateral asymmetry in cycling. **Journal of Biomechanics**. 32, p:899-9056. 1999.

SMITH, M. F.; DAVISON, R. C. R.; BALMER, J.; BIRD, S. R. Reliability of mean power recorded during indoor and outdoor self-paced 40km cycling time-trial. **International Journal of Sports Medicine**. 22, p:270-274. 2001.

SODEN, P. D. & ADEYEFA, B. A. Forces applied to a bicycle during normal cycling. **Journal of Biomechanics**, 12, p:527-541. 1979.

TOO, D. Biomechanics of cycling and factors affecting performance. **Sports Medicine**. v.10, n.5, p:286-302. 1990.

WESTGARTH-TAYLOR, C.; HAWLEY, J. A.; RICHARD, S.; MYBURG, K. H.; NOAKES, T. D. Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance trained cyclists. **European Journal of Applied Physiology**. 75, p:298-304. 1997.

WILMORE, J. H. & COSTILL, D. L. **Physiology of sport and exercise**. Human Kinetics. 1999.

Pedidos de *reprint* deste trabalho podem ser feito diretamente ao autor, pelo endereço de correio eletrônico felipe_carpes@hotmail.com