


Artigo original

Felipe Pivetta Carpes^{1,2}
Frederico Dagnese¹,
Inácio da Fontoura Limberger²,
Mateus Rossato²,
Carlos Bolli Mota¹
Alexandre Dias da Silva²

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA VELOCIDADE ANGULAR DO PÉ-DE-VELA USANDO MÉTODOS DE CINEMETRIA E SENSORES *REED-SWITCH*.

ANALYSIS OF THE CRANK ANGULAR VELOCITY WITH USE OF CINEMETRY METHODS AND REED-SWITCH SENSORS

RESUMO

Este estudo analisou a velocidade angular do pé-de-vela ao longo do ciclo de pedalada. O objetivo foi comparar os valores encontrados com a análise cinemática em relação ao uso de sensores *reed-switch*, que consideram o ciclo como com velocidade angular constante. Quatro ciclistas bem treinados foram avaliados. A análise cinemática foi realizada com o uso do Sistema Peak Motus. A velocidade angular do pé-de-vela foi comparada nos quatro quadrantes do ciclo. Os resultados mostraram que a velocidade angular do pé-de-vela não pode ser considerada constante, porque diferenças estatisticamente significativas foram observadas entre os quadrantes. Em relação ao uso de sensores *reed-switch*, sugere-se o posicionamento de mais de um sensor ao longo do ciclo, com o objetivo de não ignorar as diferenças observadas na velocidade. A análise dos resultados revelou também que a velocidade angular do pé-de-vela pode ser uma ferramenta inicial para análise da técnica de pedalada.

Palavras-chave: ciclismo, cinemática, *reed-switch*, técnica de pedalada.

ABSTRACT

This study analyzed the crank angular velocity across the pedaling cycle. The purpose was to compare values obtained from kinematic analysis to data gained through reed-switch sensors, which consider the cycle to have a constant angular velocity. Four well-trained cyclists were evaluated. The kinematic analysis was performed by using the Peak Motus System. The values of crank angular velocity at the four cycle quadrants were tested for differences. The results showed that velocity was not constant, because significant differences were observed among the cycle quadrants. The findings suggested that it is necessary to use more than one reed-switch sensors across the cycle, so that velocity variations may be detected. Furthermore, crank angular velocity can be used as a prime tool to analyse the subject's pedaling technique.

Key words: cycling, kinematics, reed-switch, pedaling technique.

¹Universidade Federal de Santa Maria/Laboratório de Biomecânica, Santa Maria – RS;

²Universidade Federal de Santa Maria /Laboratório de Metrologia, Santa Maria – RS;

INTRODUÇÃO

A análise da técnica de pedalada tem sido constantemente relacionada com o padrão de aplicação de forças ao pedal. Para a análise desta técnica, existem alguns cicloergômetros capazes de medir o torque e a potência mecânica no pé-de-vela durante a pedalada, tais como o Excalibur Sport (*Lode BV, Groningen, Netherlands*) e o SRM Training System (*SRM Science, Welldorf, Germany*). Entretanto, para uma análise mais detalhada desta variável, é fundamental o uso de pedais instrumentados que permitem analisar as forças aplicadas no pedal e avaliar suas componentes efetivas. Estes sistemas não são oferecidos de modo comercial, e sim, desenvolvidos, em sua maioria por laboratórios de pesquisa^{1,2,3,4,5,6,7,8}, sempre seguindo as premissas do primeiro sistema apresentado com riqueza de detalhes na literatura³.

Nestes sistemas, é comum o uso de *strain gages* (extensômetros de resistência elétrica) bem cristais piezoelétricos (estes menos comuns) para a quantificação da deformação e obtenção das forças aplicadas ao eixo do pedal ou a uma plataforma de força desenvolvida e adaptada à carcaça do pedal.

Somada a essas informações das forças é necessário também o conhecimento da posição do pedal e do pé-de-vela no espaço, para que cada componente de força mensurada possa ser analisada em função de suas componentes efetivas e não efetivas na geração de movimento. Para determinar a posição do pedal em relação ao seu eixo, a estratégia mais comum utilizada em sistemas de pedais instrumentados é o uso de potenciômetros rotacionais, adaptados ao eixo do pedal, que fornecem informações para a obtenção do deslocamento angular do mesmo, utilizado para a decomposição da força resultante aplicada ao pedal nas componentes normal e tangencial ao pedal^{1,2,3,5,9}.

Para a determinação da posição do pé-de-vela, o uso de potenciômetros rotacionais tem sido uma opção pouco utilizada, pois diminui a flexibilidade do sistema em ser facilmente adaptado a diversas bicicletas.

Outra maneira de se realizar essa medida é a utilização de sistemas de cinemetria, que fornecem as informações necessárias através da filmagem e reconstrução do movimento (videografia). Da mesma forma, esta estratégia restringe as avaliações a serem realizadas em ambiente laboratorial, pois a maioria dos sistemas de cinemetria necessita de um ambiente controlado. Outro fator prejudicial é a demora na obtenção dos resultados, haja vista que as imagens necessitam ser digitalizadas e as informações combinadas com os dados obtidos para as forças em rotinas de programação, implementadas especificamente para este fim como, por exemplo, em ambientes Matlab®, IDL® ou Labview®.

Devido a estas limitações, a maioria dos sistemas de cicloergômetros e pedais instrumentados têm utilizado sensores eletromagnéticos do tipo *reed switch* (interruptores magnéticos de lâminas) para a determinação da posição do pé-de-vela^{2,10,11,12}. Estes sensores, quando posicionados em um determinado ponto da trajetória do pé-de-vela, registram o momento em que o mesmo completa uma revolução, indicando, assim, o início e o fim do chamado ciclo do pé-de-vela. Utilizando-se este método considera-se que a velocidade angular do pé-de-vela ao longo do ciclo seja constante, separando-o, assim, em iguais intervalos de tempo.

Embora esta seja uma solução prática, pois permite a rápida utilização da informação para o processamento das forças, não foram encontrados, na literatura, estudos que tenham verificado se esta velocidade do pé-de-vela durante o ciclo realmente apresenta pequenas variações, podendo ser então considerada como constante.

Dessa forma o objetivo deste estudo foi analisar a velocidade angular do pé-de-vela, ao longo do ciclo de pedalada, com o uso da cinemetria, a fim de comparar estas informações com aquelas obtidas quando se faz uso de sensores do tipo *reed switch*, trazendo mais detalhes a esta importante informação relativa à biomecânica da pedalada.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Foram avaliados 4 ciclistas bem treinados, treinamento de 300 km semanais, no mínimo 5 anos competindo em nível estadual e nacional de ciclismo mountain bike, com experiência também em ciclismo de estrada. Os atletas foram avaliados em dois dias para a realização de dois testes (teste progressivo máximo e teste de ciclismo simulado, nesta ordem) com intervalo máximo de 48 horas. Todos os atletas avaliados estavam cientes da metodologia que estava sendo aplicada e firmaram sua participação no projeto mediante assinatura do termo de consentimento informado, de acordo com o Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Instituição onde este estudo foi desenvolvido.

Todos os protocolos de avaliação foram realizados utilizando-se o cicloergômetro *SRM Training System*® (*SRM Science, Welldorf, Germany*) representado na figura 1.



Figura 1. SRM Training System utilizado nas avaliações.

O perfeito ajuste de cada atleta ao cicloergômetro foi possível em razão da característica de ajustes de guidom, *seat tube angle*, altura e posição horizontal do selim, comprimento do pé-de-vela e troca de acessórios por particulares do atleta, proporcionada pelo SEM, de acordo com a bicicleta de cada atleta. Todos os ciclistas já haviam sido avaliados no cicloergômetro, entretanto, para aumentar a reprodutibilidade do teste de ciclismo simulado os ciclistas treinaram no SEM, na semana precedente a fase de coleta de dados, a fim de uma maior familiarização com o cicloergômetro¹³.

No dia prévio à avaliação recomendou-se aos ciclistas reduzirem suas cargas de treinamento e manter sua dieta tradicional. No dia das avaliações, os atletas trouxeram seus pedais e demais acessórios que julgaram necessários para que os mesmos fossem acoplados ao cicloergômetro. Todos os ciclistas utilizavam o mesmo tipo de pedal (Shimano®), o mesmo comprimento de pé de vela (170 mm) e o mesmo tamanho de coroa (52 dentes). O sistema de pé-de-vela e coroa utilizado foi o convencional.

No primeiro dia, a determinação do consumo máximo de oxigênio ($VO_{2\text{máx}}$) foi realizada seguindo um protocolo de rampa (carga inicial de 100 W por um minuto e incrementos de 16,6 W a cada minuto, com cadência mantida entre 90 e 105 rpm) com o uso do ergoespirômetro Vmax 229 Series (Sensor Medics, USA). No dia seguinte, cada ciclista pedalou durante 20 minutos, sendo que após os 10 minutos iniciais, considerados como de aquecimento, foi realizada a coleta dos dados (entre os minutos 15 e 20).

Na tabela 1, estão apresentadas as características individuais dos ciclistas avaliados bem como as características para carga ($80\%W_{\text{máx}}$) e intensidade ($VO_{2\ 80\%W_{\text{máx}}}$) do teste de ciclismo simulado.

Tabela 1. Características do teste.

| Ciclista | $VO_{2\text{máx}}$ ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) | $80\%W_{\text{máx}}$ Watts | $VO_{2\ 80\%W_{\text{máx}}}$ ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) |
|--|--|-------------------------------|--|
| 1 | 86,33 | 373 | 62,34 |
| 2 | 61,82 | 216 | 59,23 |
| 3 | 73,00 | 283 | 50,35 |
| 4 | 55,66 | 283 | 43,25 |
| Média (desvio-padrão) | 69,2 (13,5) | 288,7 (64,4) | 53,8 (8,7) |

A coleta dos dados foi feita através de cinemática, com uso da videografia bidimensional e, para tal a aquisição das imagens, foi realizada com uma única câmera (Peak HSC-180) com taxa de amostragem de 180 Hz. A câmera foi posicionada perpendicularmente ao plano de movimento, a uma distância de aproximadamente 4 m, permitindo a aquisição de imagens adequadas para o cálculo da posição e velocidade angular do pé-de-vela ao longo

de 9 ciclos consecutivos de pedalada. Para a filmagem da pedalada foram fixados marcadores reflexivos circulares, posicionados no eixo do pé-de-vela e no eixo do pedal. Dessa forma, foi determinado o ângulo do pé-de-vela em relação à vertical (θ) e em seqüência a sua velocidade angular ($\dot{\theta}$), conforme ilustra a figura 2.

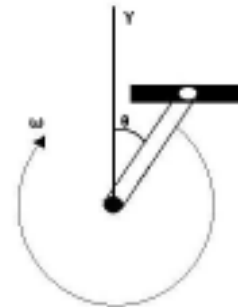


Figura 2. Determinação da posição e da velocidade angular do pé-de-vela ao longo do ciclo.

A carga utilizada para as avaliações foi a correspondente a 80% da máxima produção de potência ($80\%W_{\text{máx}}$), determinada a partir do teste de consumo máximo de oxigênio ($VO_{2\text{máx}}$), com o atleta pedalando em sua cadência preferida. Essa decisão foi tomada com o objetivo de realizar uma avaliação com intensidade o mais próximo possível daquela enfrentada pelos atletas em treinamentos e competições.

Os dados foram analisados com o uso do sistema Peak Motus (Peak Performance Technologies, Englewood, USA), sendo exportados para análise no software Origin Professional 6.0 (Microcal Inc., USA).

A velocidade angular do pé-de-vela foi analisada em função dos quatro quadrantes do ciclo do pé-de-vela (figura 3). A posição do pé-de-vela na vertical com o mesmo posicionado em 0° , corresponde ao ponto morto superior (PMS), enquanto que o pé-de-vela posicionado em 180° , corresponde ao ponto morto inferior (PMI).



Figura 3. Ciclo do pé-de-vela dividido igualmente em quatro quadrantes.

Os procedimentos estatísticos envolveram a comparação da velocidade angular do pé-de-vela entre os quatro quadrantes do ciclo de pedalada, individualmente, e para o grupo, sendo realizados no *software* Statistica 5.1 (*StatSoft Inc., USA*) através de análise de variância (Anova), com nível de significância igual a 0,05.

RESULTADOS

Foi analisada a velocidade angular do pé-de-vela direito ao longo de 9 ciclos consecutivos de pedalada. Os resultados obtidos com a análise estatística da comparação entre os quatro quadrantes estão apresentados, na tabela 2, para cada ciclista, bem como para a média do grupo e desvio padrão.

Tabela 2. Velocidade angular do pé-de-vela (°/s) em cada quadrante do ciclo.

| Ciclista | Quadrantes (velocidade angular, °/s) | | | |
|----------------------|--------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | 1° | 2° | 3° | 4° |
| 1 | 619 ^{# £ ¢} | 574 ^{* ¢} | 576 ^{* ¢} | 603 ^{* # £} |
| 2 | 587 ^{# £} | 563 ^{* £ ¢} | 572 ^{* # ¢} | 586 ^{# £} |
| 3 | 652 ^{# £ ¢} | 590 ^{* ¢} | 597 ^{* ¢} | 635 ^{* # £} |
| 4 | 607 ^{# £ ¢} | 549 ^{* ¢} | 556 ^{* ¢} | 595 ^{* # £} |
| <i>Média</i> | 615 ^{# £ ¢} | 569 ^{* ¢} | 575 ^{* ¢} | 604 ^{* # £} |
| <i>Desvio-padrão</i> | 8 | 14 | 14 | 5 |

* diferença estatística em relação ao 1° quadrante (p<0,05);
 # diferença estatística em relação ao 2° quadrante (p<0,05);
 £ diferença estatística em relação ao 3° quadrante (p<0,05);
 ¢ diferença estatística em relação ao 4° quadrante (p<0,05).

As figuras ilustrativas da velocidade angular do pé-de-vela, ao longo do ciclo do pé-de-vela, estão apresentadas em função dos quadros avaliados para cada quadrante. A partir da análise individual dos ciclistas avaliados, percebeu-se um padrão similar para a velocidade desenvolvida durante o ciclo do pé-de-vela para todos os ciclistas. De acordo com a análise estatística, o ciclista 1 apresentou no primeiro quadrante a maior magnitude, para velocidade angular do pé-de-vela. Em seguida, no segundo e terceiro quadrantes a magnitude da velocidade foi similar, embora o comportamento de um em relação ao outro tenha sido o inverso (figura 4).

Percebe-se que no segundo quadrante a velocidade diminui, voltando a aumentar a partir do início do terceiro quadrante. Após isso, o quarto quadrante também possuiu magnitude diferente do observado em todos os outros, mas com um padrão inverso ao observado para o primeiro quadrante. Isto é percebido de forma mais nítida se imaginando que as curvas são subseqüentes do 1° ao 4° quadrante do ciclo do pé-de-vela.

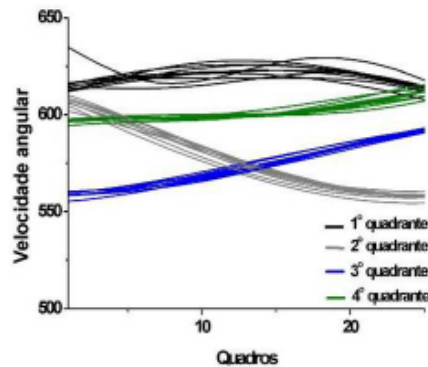


Figura 4. Velocidade angular do pé-de-vela em cada quadrante para cada ciclo analisado – ciclista 1.

Esta análise em relação ao ciclista 1 também serviu para os ciclistas 3 e 4 que apresentaram o mesmo comportamento e as mesmas características quanto à magnitude da velocidade angular. Entretanto, quando se avaliou o ciclista 2, foram observadas algumas diferenças (figura 5). Neste, o primeiro quadrante foi semelhante ao quarto e ambos foram diferentes do segundo terceiro quadrantes. Encontrou-se, também, diferença estatisticamente significativa entre o segundo e terceiro quadrantes.

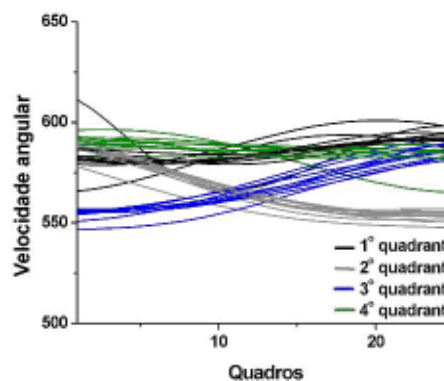


Figura 5. Velocidade angular do pé-de-vela em cada quadrante para cada ciclo analisado – ciclista 2.

Em análises envolvendo atletas bem treinados, é importante verificar também as repercussões do tratamento dos dados apenas para a média do grupo, visto a individualidade, nível de treinamento e desempenho de cada atleta. Dessa forma, optou-se em apresentar a análise para o grupo somente após a apresentação individual dos resultados.

Conforme mostrou a tabela 2, a média do grupo apresentou os mesmos resultados encontrados para os ciclistas 1, 3 e 4, indicando a homogeneidade do grupo avaliado, sendo observada apenas algumas diferenças em relação ao ciclista 2.

A figura 6 ilustra o comportamento da velocidade em cada um dos quadrantes analisados para a média do grupo de ciclistas. Novamente se percebe que o primeiro e o quarto quadrantes parecem ter um padrão inverso, embora isto não seja tão claro graficamente como quando se observa o segundo e o terceiro

quadrantes.

Uma importante observação a ser feita é que a maior velocidade durante o ciclo de pé-de-vela foi observada no seu início (PMS), justamente onde é comum ser posicionado os sensores do tipo *reed-switch*, que como mencionado anteriormente, registram o início e o fim do ciclo, considerando a velocidade igual ao longo do ciclo.

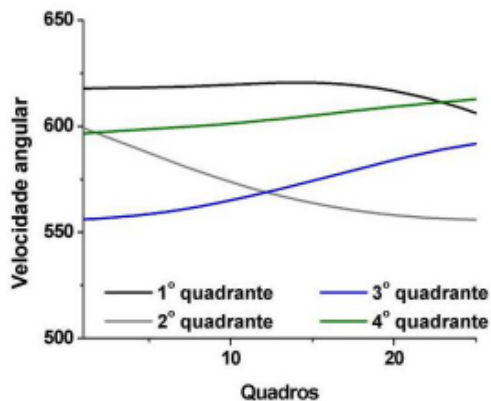


Figura 6. Velocidade angular do pé-de-vela em cada quadrante para cada ciclo analisado - média do grupo.

Observou-se também que, enquanto a maior velocidade foi observada sempre no início do primeiro quadrante (PMS – 0° do pé-de-vela), a menor velocidade é observada no final do segundo quadrante (PMI – 180° do pé-de-vela).

Na figura 7, estão representadas as curvas de velocidade normalizadas pela velocidade média em cada quadrante, ou seja, a velocidade de cada quadrante foi dividida pela média em cada quadrante, a fim de se identificar as variações observadas em relação a consideração de velocidade constante.

O traçado paralelo no valor 1,00 (um) indica a posição da velocidade média no quadrante. Observa-se que a variação foi pequena, entretanto nota-se que os valores mais extremos ocorrem sempre no início e/ou final do quadrante. No trajeto médio de cada quadrante (em torno de 45°), os valores se apresentaram mais próximos da média.

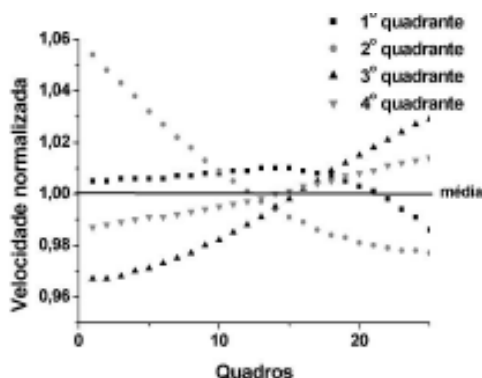


Figura 7. Velocidade angular do pé-de-vela normalizada pela média em cada quadrante - média dos nove ciclos.

Na figura 8, estão representadas as curvas de velocidade normalizadas pela velocidade média do ciclo. O traçado no valor um (1,00), corresponde à informação de velocidade normalmente fornecida por um *reed-switch*. Com isso ressalta-se a importância da seguinte observação. De acordo com a figura 5, nota-se que o primeiro e segundo quadrantes apresentam velocidade angular acima da média, enquanto que no segundo e terceiro quadrante a velocidade angular é predominantemente menor que a média.

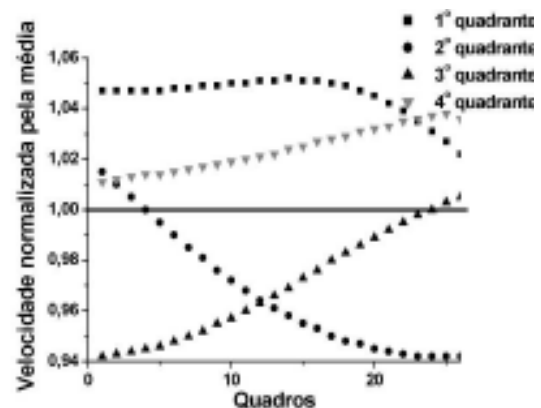


Figura 8. Velocidade angular do pé-de-vela normalizada pela média do ciclo - média dos nove ciclos.

Por fim, apresenta-se a curva de velocidade angular do pé-de-vela ao longo do ciclo (todos os quadrantes em seqüência), normalizada pela média para o ciclo (linha horizontal no valor 1,00). A análise da figura 9 reafirma os resultados apresentados na análise por quadrantes. O desvio-padrão dos dados expresso na figura 6 foi similar ao longo do ciclo de pedalada.

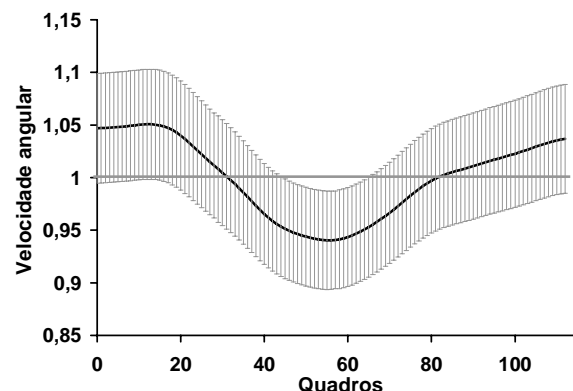


Figura 9. Velocidade angular do pé-de-vela normalizada ao longo do ciclo.

DISCUSSÃO

Este estudo foi desenvolvido como parte de um projeto que tem o propósito de instrumentar pedais com interfaces compatíveis ao uso no ciclismo de

mountain-bike e de estrada. A fim de sanar dúvidas quanto ao comportamento da velocidade angular do pé-de-vela, ao longo do ciclo, foi avaliado o comportamento desta velocidade quando obtida com uso de cinematria em comparação ao obtido com o uso de sensores *reed-switch*.

O objetivo deste estudo foi testar a hipótese de que a velocidade angular do pé-de-vela é passível de ser considerada constante, ao longo do ciclo da pedalada, como se assume com o uso de sensores tipo *reed-switch* e em muitos estudos previamente desenvolvidos^{2,10,11,12,14,15,16}.

Com a análise cinemática realizada, percebeu-se que alterações na velocidade angular, ao longo do ciclo do pé-de-vela, não podem ser simplesmente ignoradas sem que se assumam os erros advindos desta situação ou que se façam análises a fim de detectar efeitos dessa condição sobre os resultados da avaliação, pois a velocidade angular analisada neste estudo apresentou magnitudes estatisticamente diferentes entre os quatro quadrantes.

Uma importante observação a ser feita é que as maiores velocidades foram observadas sempre no início dos quadrantes, enquanto o valor mais próximo da média foi observado numa posição intermediária (em cada quadrante), bem como a velocidade no 1° e 4° quadrantes ficou acima da média, enquanto que no 2° e 3° quadrantes a velocidade ficou abaixo da média, indicando que a fase superior do ciclo de pedalada ocorre em menor tempo do que a fase inferior.

Alguns dos estudos buscados na literatura fazem menção à velocidade angular do pé-de-vela ao longo do ciclo de modo mais específico.

No estudo de Zamparo e colaboradores¹⁵, foi testado um protótipo de pé-de-vela que possuía a característica de modificar seu comprimento ao longo do ciclo, tornando-se mais longo na fase de propulsão (primeiro e segundo quadrantes) e mais curto na fase de recuperação (terceiro e quarto quadrantes). Embora os autores tenham reportado a realização da medida da velocidade angular do pé-de-vela, os resultados desta análise não foram apresentados. É provável que o protótipo apresentado tenha acarretado diferenças ainda maiores na velocidade angular do que as apresentadas neste estudo, que utilizou um pé-de-vela convencional.

Alguns estudos têm testado e apresentado alterações biomecânicas, fisiológicas e suas interações com o uso de coroas com formato não convencional, como as coroas elípticas ou excêntricas. Nestes, as relações com as propriedades musculares¹⁶, também em relação a sistemas convencionais, são amplamente discutidas, indicando que o uso de coroas elípticas pode incrementar a velocidade angular do pé-de-vela em cerca de 20% em relação ao sistema convencional, considerado este como com velocidade angular constante¹⁴.

Os resultados deste estudo apontam que a velocidade angular do pé-de-vela é passível de ser

considerada constante somente no segundo e terceiro quadrantes (parte inferior do ciclo). No primeiro e quarto quadrantes (parte superior do ciclo), as velocidades diferiram entre si e em relação aos demais quadrantes.

Não está disponível na literatura um estudo que tenha avaliado o efeito destas variações na velocidade sobre as forças e efetividade da pedalada. Acredita-se que um indicador de boa técnica de pedalada em relação à aplicação de força ao pedal seria a habilidade em manter uma velocidade angular constante (ou com pequena variação, passível de ser considerada não significativa), a fim de otimizar o impulso angular produzido, o qual é um bom indicador de desempenho.

Considerando que um ciclista mantenha a velocidade angular constante durante o ciclo, existe a possibilidade de produzir um impulso angular maior, pois com uma pequena variação no tempo (e conseqüentemente na velocidade), as mudanças no impulso se dariam somente por alterações na magnitude da força aplicada.

Dessa forma, pode-se inferir que a velocidade angular do pé-de-vela ao longo do ciclo não é constante, sendo que as alterações estatisticamente significativas observadas neste estudo precisam ser consideradas em estudos a cerca das forças no pedal.

Pode-se sugerir que este tipo de análise (da velocidade angular do pé-de-vela, ao longo do ciclo), pode ser uma boa estratégia para uma primeira avaliação da técnica de pedalada no ciclismo, com o objetivo de verificar se o atleta consegue manter uma velocidade angular ao longo do ciclo, passível de ser considerada constante e de otimizar a aplicação de força ao pedal e produção de impulso angular.

CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que, para os quatro ciclistas bem treinados avaliados, a velocidade não pôde ser considerada constante, pois foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os quadrantes. Para solucionar essa questão ainda com o uso de sensores *reed-switch*, que proporcionam uma informação mais rápida, talvez seja uma solução satisfatória a utilização de mais de um sensor posicionado ao longo do ciclo (como por exemplo, um sensor no PMS e outro no PMI), pois dessa forma seriam coletadas mais informações de modo igualmente prático e rápido.

Estes resultados podem servir também à análise do projeto e concepção de coroas, que podem ser desenhadas a fim de minimizar as variações na velocidade em pontos específicos de ciclo. Não foi analisada a repercussão deste resultado sobre o padrão de aplicação das forças ao pedal, entretanto, infere-se que a análise da velocidade angular do pé-de-vela pode servir como ferramenta inicial à análise da técnica de pedalada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Álvarez G, Vinyolas J. A new bicycle pedal design for on-road measurements of cycling forces. *J App Biomech* 1996;12(1):131-42.
2. Neto CD, Schmidt G, Candotti CT, Loss JF, Zaro MA, Cervieri A, Guimarães AC.S. Desenvolvimento de uma plataforma de força em pedal de ciclismo. *Braz J Biomech* 3:39-44, 2001
3. Hull ML, Davis RR. Measurement of pedal loading in bicycling: I Instrumentation. *J Biomech* 1981; 14(12):843-56.
4. Broker JP, Gregor RJ. A dual piezoelectric force pedal for kinetic analysis of cycling. *Int J Sports Biomech* 1990; 6:394-403.
5. Nabinger E. Desenvolvimento de um sistema de medição para análise biomecânica da pedalada de um ciclista. [Dissertação de Mestrado]. Porto Alegre (RS): Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 1997.
6. Nabinger E. Análise dinâmométrica tridimensional da pedalada de ciclistas. [Projeto de Tese de Doutorado]. Porto Alegre (RS): Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2005.
7. Carmo JC, Nascimento FAO, Costa JC, Rocha AF. Instrumentação para aquisição e avaliação das forças exercidas nos pedais por ciclistas. *Braz J Biomech* 2002; 2(3):31-39.
8. Carpes FP. Desenvolvimento de um sistema de pedais dinâmométricos para avaliação biomecânica no ciclismo. [Projeto de Dissertação de Mestrado]. Santa Maria (RS): Universidade Federal de Santa Maria; 2005.
9. Coyle EF, Feltner ME, Kautz SA, Hamilton MT, Montain SJ, Baylor AM, Abraham LD, Petrek GW. Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Med Sci Sports Exerc* 23(1):93-107, 1991
10. Desiprés M. An electromyographic study of competitive road cycling conditions simulated on a treadmill. In: Nelson RC, Morehouse C. *Biomechanics IV*. Baltimore, Universal Park Press, 1974. p. 349-55.
11. Welbergen E, Clijnsen, LPVM. The influence of body position on maximal performance in cycling. *Eur J Appl Physiol* 1990; 61:138-42.
12. Hug F, Decherchi P, Marqueste T, Jammes Y. EMG versus oxygen uptake cycling exercise in trained and untrained subjects. *J Electromyog Kinesiol* 2003. 14(2):187-95.
13. Laursen PB, Shing CM, Jenkins DG. Reproducibility of a laboratory-based 40 km cycle time trial on a stationary wind-trainer in highly trained cyclists. *Int J Sports Med* 2003; 24:481-85.
14. Hull ML, Williams M, Williams K, Kautz S. Physiological response to cycling with both circular and noncircular chainrings. *Med Sci Sports Exerc* 1992; 24(10):1114-1122.
15. Zamparo P, Minetti AE, Prampero PE. Mechanical efficiency of cycling with a new developed pedal crank. *J Biomech* 2002; 35:1387-98.
16. Neptune RR, Herzog W. Adaptation of muscle coordination to altered task mechanics during steady-state cycling. *J Biomech* 2000; 33:165-72.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de registrar agradecimento a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa ao autor responsável e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro ao GEPEC, Grupo de Estudo e Pesquisa em Ciclismo (CNPq/Processo nº 470645/2004-0).

Endereço para correspondência

Prof. Felipe Pivetta Carpes
Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Educação Física e Desportos
Laboratório de Biomecânica
GEPEC – Grupo de Estudo e Pesquisa em Ciclismo
Faixa de Camobi, km 9
CEP: 97105-900 - Santa Maria/RS
e-mail: felipecarpes@gmail.com

Recebido em 9/11/05
Revisado em 3/02/06
Reapresentado em 6/06/06
Aprovado em 6/06/06