

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO

**INFLUÊNCIA DO CICLISMO NA EFICIÊNCIA E ECONOMIA DE
CORRIDA EM TRIATLETAS**

Rodrigo Gomes da Rosa

Porto Alegre, dezembro de 2014.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano

**INFLUÊNCIA DO CICLISMO NA EFICIÊNCIA E ECONOMIA DE
CORRIDA EM TRIATLETAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano da Escola de Educação Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências do Movimento Humano.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Alexandre Peyré Tartaruga

Rodrigo Gomes da Rosa

Porto Alegre, dezembro de 2014.

CIP - Catalogação na Publicação

Gomes da Rosa, Rodrigo
INFLUÊNCIA DO CICLISMO NA EFICIÊNCIA E ECONOMIA
DE CORRIDA EM TRIATLETAS / Rodrigo Gomes da Rosa. --
2014.
54 f.

Orientador: Leonardo Alexandre Peyré Tartaruga.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Escola de Educação Física, Programa
de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano,
Porto Alegre, BR-RS, 2014.

1. Corrida. 2. Triatlo. 3. Locomoção. 4. Consumo
de Oxigênio. 5. Biomecânica. I. Alexandre Peyré
Tartaruga, Leonardo, orient. II. Título.

Rodrigo Gomes da Rosa

**INFLUÊNCIA DO CICLISMO NA EFICIÊNCIA E ECONOMIA DE CORRIDA
EM TRIATLETAS**

Conceito Final: A

Aprovado em: 15 de dezembro de 2014

Banca examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Ramos da Silva

Prof. Dr. Carlos Bolli Mota

Prof. Dr. Flávio Antônio de Souza Castro

Porto Alegre, agosto de 2014.

RESUMO

O triatlo é um esporte composto por natação, ciclismo e corrida. Embora existam evidências que apontem influência do ciclismo prévio à corrida, mecanismos que expliquem fatores bioenergéticos e biomecânicos na corrida após o ciclismo não são completamente compreendidos. O objetivo deste estudo foi investigar os efeitos do ciclismo prévio, sobre a corrida, em triatletas de nível médio nos seguintes parâmetros: economia de corrida (ECO), eficiência mecânica (*Eff*), trabalho mecânico (W_{mec}), rigidez do membro inferior e do sistema massa-mola (K_{leg} e K_{vert}) e comprimento e frequência de passada (CP e FP). Participaram do estudo 14 triatletas de nível médio (média \pm DP; $VO_{2max} = 65,3 \pm 2,7$ ml.kg⁻¹.min⁻¹, idade = 30 ± 5 anos; tempo de prática = $6,8 \pm 3,0$ anos). Os atletas realizaram quatro testes: 1) um teste máximo de corrida, 2) um teste máximo de ciclismo, randomizados, 3) um teste de ECO de 20 minutos a 14km.h⁻¹ com coleta cinemática e do consumo de O₂ em quatro momentos, e 4) o mesmo teste após pedalar durante 30 minutos na potência equivalente a 80% do 2º limiar ventilatório (2ºLMV), realizados de forma randomizada. A ECO não apresentou diferença quando realizada após o ciclismo em relação a corrida sem corrida isolada, assim como o W_{mec} que foi menor ao final do teste de corrida isolada ($p < 0,05$). A *Eff* no teste com ciclismo prévio no último momento foi maior que a corrida isolada ($0,60 \times 0,52$) e o contrário ocorreu com K_{leg} ($20,2 \times 24,4$ kN.m⁻¹) e K_{vert} ($7,1 \times 8,2$ k N.m⁻¹, $p < 0,05$). FP foi maior e CP menor em todos os momentos da corrida com ciclismo prévio $p < 0,05$. A ECO, W_{mec} , K_{leg} e K_{vert} são mantidos ao longo do teste de velocidade constante quando realizado ciclismo em intensidade moderada, demonstrando que o ciclismo prévio à corrida pode contribuir para a manutenção da *Eff* em triatletas, porém ajustes ocorrem no CP e FP para manutenção da ECO.

PALAVRAS-CHAVE: Corrida, Triatlo, Locomoção, Consumo de oxigênio, Biomecânica.

ABSTRACT

The triathlon is composed of swimming, cycling and running. Although there are evidences indicating the influence of cycling prior to running, bioenergetics and biomechanics mechanisms describing the effects on running are not completely understood. The aim of this study was to investigate the effects of cycling on running economy (RE), mechanical efficiency (*Eff*), mechanical work (W_{mec}), spring stiffness (K_{leg} e K_{vert}) stride frequency and length (SF and SL). Fourteen intermediate level triathletes (mean \pm SD: maximum oxygen uptake, $\text{VO}_{2\text{max}} = 65.3 \pm 2.7 \text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, age = 30 ± 5 years, practice time = 6.8 ± 3.0 years) performed four tests: 1) running maximal oxygen uptake test and 2) cycling maximal oxygen uptake test ($\text{VO}_{2\text{max}}$) randomized and 3) running economy test of 20 minutes at 14 km.h^{-1} with kinematic and oxygen consumption data collected in four moments and 4) the same test after 30 minutes on the power equivalent to 80% of 2^o ventilatory threshold (VT2) randomized. No differences were observed post cycling in ECO or W_{mec} that was lower at the end of isolated running ($p < 0.05$). The *Eff* in running test post cycling at the last moment was greater than the isolated run (0.60×0.52) and opposite was observed with K_{leg} ($20.2 \times 24.4 \text{ kN.m}^{-1}$) and K_{vert} ($7.1 \times 8.2 \text{ kN.m}^{-1}$, $p < 0.05$). SF was higher and SL smaller all the moments in the running post cycling ($p < 0.05$). The RE, W_{mec} , K_{leg} e K_{vert} are maintained throughout the constant speed test when performed at moderate intensity cycling. Therefore, we concluded that prior cycling race contributes to the maintenance of *Eff* in triathletes, and adjusts occur in CP and FP for maintenance of ECO.

KEYWORDS: Running, Triathlon, Locomotion, Oxygen Uptake, Biomechanics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Adaptada de Hobara et al. (2010) Modelo massa mola da corrida. O membro inferior representado por uma mola, a qual é comprimida durante a primeira metade do contato e volta a estender na segunda metade do contato. O deslocamento vertical máximo do centro de massa durante o tempo de contato do pé com o solo é representado por $y_{\Delta c}$. 25

Figura 2. Desenho experimental da coleta de dados. Os testes foram realizados em quatro dias diferentes, as coletas de VO_{2max} (corrida e ciclismo) ocorreram em ordem randomizada, e os testes submáximos foram realizados após também em ordem randomizada e com um intervalo de no mínimo 72 horas entre elas. 28

Figura 3. Consumo de oxigênio durante o teste de 20 minutos a 14 km.h^{-1} . As barras de cor cinza claro e escuro representam a média e o desvio padrão do consumo de O_2 da corrida com ciclismo prévio e da corrida isolada, respectivamente. A linha tracejada representa a média percentual do VO_{2max} e os valores descritos representam o percentual do VO_{2max} para cada situação. A linha contínua representa o percentual do $2^{\circ}LMV$ e os valores descritos representam o percentual do $2^{\circ}LMV$ para cada situação. ($p > 0,05$). 36

Figura 4. Componentes do trabalho mecânico ao longo da corrida de vinte minutos a 14 km.h^{-1} . Os quadrados vermelhos representam os valores de trabalho mecânico interno sem ciclismo prévio (S/Ciclismo Wint). Os losangos pretos representam os valores de trabalho mecânico interno com ciclismo prévio (C/Ciclismo Wint). Os círculos pretos representam os valores de trabalho mecânico externo sem ciclismo prévio (S/ Ciclismo Wext). Os triângulos vermelhos representam os valores de trabalho mecânico externo com ciclismo prévio (C/ Ciclismo Wext). Os quadrados pretos representam os valores de trabalho mecânico total sem ciclismo prévio (S/Ciclismo Wtot). Os losangos vermelhos representam os valores de

trabalho mecânico total com ciclismo prévio (C/ Ciclismo W_{tot}). * representa $p < 0,05$ na situação de corrida isolada..... 37

Figura 5. Eficiência mecânica no teste de economia de corrida de 20 minutos a 14 $km.h^{-1}$. As barras de cor cinza claro e cinza escuro representam a média e o desvio padrão da Eff com ciclismo prévio e da corrida isolada, respectivamente. * representa $p < 0,05$ do teste t pareado. 39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS E UNIDADES

CM	Centro de massa
CP	Comprimento de passada
ECO	Economia de corrida
<i>Eff</i>	Eficiência mecânica
FP	Frequência de passada
FRS	Força de reação do solo
J	Joules
Kg	Quilograma
Km.h ⁻¹	Quilômetros por hora
K _{leg}	Rigidez vertical do membro inferior
K _{vert}	Rigidez vertical do sistema massa-mola
LMV	Limiar ventilatório
O ₂	Dióxido de oxigênio
P _{mec}	Potência mecânica
P _{met}	Potência metabólica
RER	Razão de troca respiratória
RPM	Rotações por minute
ta	Tempo aéreo
tc	Tempo de contato
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande Do Sul
VCO ₂	Produção de dióxido de carbono

VE	Ventilação
VO_2	Consumo de oxigênio
VO_{2max}	Consumo máximo de oxigênio
W_{ext}	Trabalho mecânico externo
W_{int}	Trabalho mecânico interno
W_{mec}	Trabalho mecânico
W_{met}	Trabalho metabólico
W_{tot}	Trabalho mecânico total
ΔL	Pico de deslocamento da perna durante o contato
Δy_c	Pico de deslocamento vertical do centro de massa

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
ABSTRACT	6
LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS E UNIDADES	9
SUMÁRIO	11
Agradecimentos	13
APRESENTAÇÃO.....	15
1. INTRODUÇÃO.....	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 Desempenho e economia de corrida no triatlo.....	19
2.2 Trabalho e eficiência mecânica	23
2.3 Parâmetros do sistema massa-mola e espaço temporais.....	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
3.1 Amostra.....	27
3.2 Desenho experimental	27
3.3 Procedimentos.....	28
3.3.1 Teste: Consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) na corrida.....	28
3.3.2 Teste: Consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) no ciclismo	29

3.3.3 Testes: Economia de corrida e eficiência mecânica (ECO e <i>Eff</i>) com e sem ciclismo prévio	30
3.4 Processamento dos dados	31
3.4.1 Economia de corrida	31
3.4.2 Trabalho mecânico (W_{mec}).....	31
3.4.3 Eficiência mecânica	32
3.4.4 Rigidez vertical (K_{vert}) e rigidez do membro inferior (K_{leg})	33
3.4.5 Procedimentos estatísticos	35
4. RESULTADOS	36
4.1 Economia de corrida	36
4.2 Trabalho mecânico.....	36
4.3 Potência metabólica e mecânica e <i>Eff</i>	38
4.4 Rigidez do sistema massa-mola e parâmetros espaço-temporais	39
5. DISCUSSÃO	41
6. CONCLUSÃO.....	46
7. REFERÊNCIAS	47
8. ANEXOS	51
ANEXO A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	51
ANEXO B: Carta de aprovação do comitê de ética.....	53

AGRADECIMENTOS

Obrigado a minha família, que deu todo o suporte que precisei, que me proporcionou a oportunidade de estudar e aprender, com seus valores e seu amor incondicional: Minha mãe Rosane e meu pai Roberto, meus avós queridos Vilma e Nilton, minha tia Josiane (Preta), minha avó Ione, meus tios queridos e toda minha família que compreendeu minhas ausências e que me recebe sempre de braços abertos!

A minha namorada Gabriela, por seu amor e seu apoio desde o primeiro semestre da graduação até a etapa de hoje. Que possamos comemorar juntos inúmeras vitórias e partilhar os melhores momentos de nossas vidas!

Agradeço toda a família Klein Mees por terem me acolhido, agradeço ao Carlos Mees e a Jacqueline Klein pelo apoio e carinho, a Júlia Klein e ao João Forster por me acolherem e por me darem o presente de ser tio do Pedro da Maria Júlia.

Ao meu amigo e professor Gabriel Espíndola, pelos ensinamentos, pela amizade e apoio.

Aos meus amigos do peito: Vivian, Vanessa, Erico. Aos que me apresentaram ao triatlo e que me fizeram amar este esporte: Wilson Mattos, Lucas Pretto, Veronica Bardini, Alex Azambuja.

A Equipe de *Triathlon* UFRGS/LOCOMOTION: Bernardo Jung pela parceria constante para testar equipamentos e aprender coisas novas, Tiago Jantash por me mostrar que a força de vontade supera as dificuldades, ao Alexandre, Alberito, Marcos, Ricardo, Tarta por acreditarem nos meus treinos e trazerem a natação novamente para minha rotina.

Aos grupos de pesquisa LOCOMOTION e GPAT, pelo apoio e ensinamentos ao longo de todo período em que faço parte dessa família. Aos colegas do grupo: Elren Passos, Alberito de Carvalho, Gabriela Fischer, Onécimo Ubiratã, Paula Finatto, Alex Oliveira, Marcela Sanseverino, Patrícia Pantoja, Leandro Padovani, Leandro Frazoni, Jonas Hübner, Araton Cardoso, Eduardo Remião e todos que fazem parte da família LOCOMOTION. Ao colegas e amigos do GPAT pelo apoio e companheirismo Rodrigo Delevati, Felipe Schuch, Rochele Costa, Ana Kanitz, Matheus Conceição, Giane Veiga. Agradeço a esses dois grupos que hoje unidos representam um sinônimo de qualidade e de aprendizado contínuo através

de seus líderes Prof. Dr. Luís Fernando Martins Krueel e Prof. Dr. Leonardo Alexandre Peyré Tartaruga.

Aos meus grandes amigos Henrique Bianchi pela paciência, pelo coleguismo, pelas contribuições tanto nas coletas quanto nas correções do trabalho e por apoiar minhas invenções e ideias, ao Jorge Storniolo, pelas contribuições nos momentos decisivos do processamento de dados e pela sua amizade, com apoio e amizade desses dois colegas essa caminhada se tornou mais prazerosa e com muito mais histórias para contar.

A Natalia Gomeñuka minha co-orientadora, amiga e tudo mais que em palavras não caberiam em um capítulo de agradecimentos, nosso trabalho foi além do laboratório e se transformou em uma amizade que levo para a vida, estendo esse agradecimento ao Martín Cruz por ter paciência e disponibilidade para atravessar esse período conturbado com alegria e junto com o presente que é o Ezequiel, nosso mais novo “cientista”.

Agradeço ao meu orientador, amigo e atleta Leonardo Alexandre Peyré Tartaruga por ter acolhido minhas ideias, projetos, por ter dado a oportunidade de estudar o que eu amo e que faço com maior prazer. Por ter me apresentado ao estudo da locomoção humana e me fazer pensar no movimento de modo integrativo, por me instigar a continuar pesquisando, estudando e aprendendo!

A todos os funcionários da EsEF que me apoiaram Dani, Luciano, Vanessa, Luís, Ana Larratéia, Ezequiel, André, Roberto, Adriano. Aos funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, do Laboratório de Pesquisa do Exercício da UFRGS e do Centro Natatório.

Aos professores da banca, pelas contribuições ao trabalho.

A CAPES e FAPERGS pelo auxílio financeiro.

Aos sujeitos que fizeram parte da amostra deste estudo, pela disponibilidade, vontade e compreensão para participar.

APRESENTAÇÃO

Este trabalho teve o suporte do grupo de pesquisa LOCOMOTION, sob a orientação do Prof. Dr. Leonardo Tartaruga, o qual esteve presente e contribuiu para elaboração das ideias do estudo, discussões sobre a corrida e sobre o triatlo. Como contribuição para a área da Educação Física pensamos e elaboramos um trabalho envolvendo um esporte em pleno crescimento e desenvolvimento, que envolve a interação de três modalidades (natação, ciclismo e corrida) que é o triatlo. Em conjunto com o que é desenvolvido no grupo de pesquisa conseguimos colocar em prática o estudo sobre a eficiência mecânica e os fatores que contribuem para o desempenho da corrida no triatlo, esperamos contribuir para a ciência de forma qualificada assim como para o esporte.

Esta dissertação contém um artigo pronto para submissão à publicação, e está em consonância com a resolução 93/2007 que regulamenta a publicação e características dos conteúdos dos trabalhos científicos desenvolvidos na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Essa dissertação é composta por: uma introdução, uma revisão de literatura; materiais e métodos com procedimentos de coleta e processamento dos dados, resultados, discussão e conclusão.

1. INTRODUÇÃO

O triatleta treina três modalidades distintas (natação, ciclismo e corrida). O estudo da interferência de cada etapa no desempenho geral deste esporte pode ajudar na otimização do treinamento. Quantificar a interferência do ciclismo na corrida de forma aguda pode melhorar o treinamento específico dessas modalidades. A eficiência mecânica da corrida pode sofrer interferência do ciclismo realizado anteriormente, entretanto, ainda há dúvidas se essa interferência é positiva ou negativa para os componentes fisiológicos e biomecânicos deste parâmetro.

O consumo de O_2 em testes que tenham velocidade de corrida constantes e submáximas representa a economia de corrida (ECO). A economia de corrida vem sendo descrita como um dos principais fatores determinantes do desempenho em provas de longa duração (KYRÖLÄINEN et al., 2001; FLETCHER et al., 2009; BONACCI et al., 2011). Em triatletas de elite a ECO não se altera após o ciclismo de baixa e alta intensidade (BONACCI et al., 2011), porém o efeito do ciclismo anterior à corrida em atletas de elite parece ser positivo para a economia, enquanto que em atletas de nível médio esse efeito é negativo (MILLET et al., 2000). Quando comparados diferentes níveis de atletas, é possível encontrar alterações na resposta da economia de corrida após o ciclismo, contudo é preciso cuidado na identificação do nível do atleta e das alterações biomecânicas que possam se relacionar com a economia de corrida em triatletas.

As respostas biomecânicas auxiliam na compreensão da ECO durante a locomoção e são determinantes de desempenho (TARTARUGA et al., 2012). Recentemente Connick e Li (2014) encontraram um aumento na amplitude articular do tornozelo e do quadril e menor comprimento de passada após dez minutos de corrida com ciclismo prévio, e sugerem que o controle locomotor é afetado após a transição do ciclismo para corrida pela realização de um

protocolo de ciclismo prolongado (30min a 80% VO_{2max} + 180min 55% VO_{2max} + 10min 70% VO_{2max}).

A integração entre o componente mecânico e metabólico da corrida contribuí para a compreensão do desempenho da corrida em triatletas. Com a quantificação do trabalho mecânico (W_{mec}) e metabólico (W_{met}) é possível calcular a eficiência mecânica (Eff) da corrida que é resultado da divisão entre o W_{mec} e o W_{met} (CAVAGNA e KANEKO, 1977). O trabalho mecânico total é advindo da soma do trabalho mecânico interno (W_{int}) e externo (W_{ext}) e é o produto do trabalho realizado por músculos e tendões durante a corrida (ROBERTS et al. 1998). A Eff é um importante indicador de desempenho da corrida, pois atletas que conseguem manter um grande trabalho mecânico sem alteração na ECO alcançam velocidades médias de corrida mais altas. Contudo, a Eff ainda não foi avaliada a fim de investigar os efeitos do ciclismo na corrida posterior em triatletas.

A corrida pode ser representada por um modelo físico-matemático denominado massa-mola, no qual, em cada passo ocorre o ciclo de alongamento-encurtamento das unidades músculo-tendão com uma recuperação de energia mecânica durante a oscilação vertical do sistema (CAVAGNA e KANEKO 1977; BLICKHAN 1989; MCMAHON e CHENG 1990; FARLEY E GONZÁLES 1996). É possível estimar a rigidez desta mola por meio de parâmetros como a rigidez vertical do sistema massa-mola (K_{vert}) e a rigidez vertical do membro inferior (K_{leg}) e com isso estimar a energia elástica durante a corrida (FARLEY E GONZÁLES, 1996, MORIN et al., 2005).

Em estudo com triatletas de nível internacional, não foi encontrada diferença em K_{leg} e K_{vert} durante os 10 km de corrida, em uma prova de triatlo (LE MEUR et al., 2013). Entretanto, a comparação foi realizada entre diferentes etapas dos 10 km, não sendo possível analisar o efeito isolado do ciclismo na rigidez do sistema massa mola. Ainda, são pouco

exploradas essas variáveis para compreensão dos mecanismos que contribuem para o desempenho da corrida após o ciclismo.

A *Eff* está relacionada com a integração entre os componentes biomecânicos e fisiológicos, sendo que a manutenção do consumo de oxigênio ao longo de um período maior de exercício depende da otimização da mecânica do movimento. Contudo, ainda não se sabe como o ciclismo afeta a *Eff*, ECO e rigidez do sistema massa-mola da corrida em triatletas de nível médio. O objetivo do presente estudo foi comparar o efeito agudo do ciclismo na corrida contra a corrida isolada em triatletas de nível médio na economia de corrida (ECO), na eficiência mecânica da corrida (*Eff*), trabalho mecânico (W_{mec}), a rigidez vertical e do membro inferior (K_{vert} e K_{leg}) e as variáveis espaço temporais frequência e comprimento de passada (FP e CP) durante a corrida. Portanto, a principal hipótese deste estudo é que a o W_{mec} da corrida após o ciclismo aumente assim como a rigidez do sistema massa-mola de forma a otimizar a *Eff* por meio de um maior aproveitamento de energia elástica para gerar movimento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Desempenho e economia de corrida no triatlo

A economia de corrida (ECO) é definida como energia metabólica despendida para manter a velocidade constante durante a corrida (DI PRAMPERO et al., 1986), do ponto de vista da locomoção geral, a energia metabólica despendida para percorrer determinada distância, que pode ser normalizado pela massa corporal e transformado em Joules (J) para ser transformado em trabalho (W_{met}). Saunders et al. (2004) relatam alguns fatores que interferem na ECO de corredores de longa distância, dentre eles, estão fatores funcionais e biomecânicos como: flexibilidade, energia elástica armazenada, energia mecânica e força de reação do solo, e fatores fisiológicos como: $VO_{2máx}$, maturação, metabolismo.

O triatlo é um esporte complexo em relação aos efeitos adaptativos e as respostas fisiológicas e metabólicas de cada etapa da prova. Dentro de uma prova a natação é a primeira etapa, seguida do ciclismo e da corrida (Quadro 1). O desempenho no triatlo depende da capacidade em realizar todas as etapas no menor tempo possível, entretanto, a interferência do ciclismo anterior à corrida, por exemplo, pode influenciar no desempenho geral do atleta no esporte (HAUSSWIRTH et al., 2010).

Quadro 1. Distâncias das principais provas de triatlo

Provas de triatlo	Natação (km)	Ciclismo (km)	Corrida (km)
<i>Ironman</i>	3,8	180	42
Longa distância	2,5	80	20
Olímpico	1,5	40	10
<i>Sprint</i>	0,75	20	5

Adaptada de Millet e Vleck, 2000.

As pesquisas mais atuais sobre o triatlo (BONACCI, et al. 2010 e 2011; LE MEUR et al., 2013) buscam avaliar a interferência entre as etapas dentro do triatlo, para responder a questões de desempenho, porém a avaliação biomecânica da corrida após o ciclismo, principalmente, possui lacunas que podem ser analisadas por parâmetros cinemáticos (CONNICK e LI, 2014; TARTARUGA et al., 2012) e principalmente do ponto de vista da eficiência do movimento levando em conta o custo mecânico e energético do movimento.

Um bom desempenho nos três esportes (natação, ciclismo e corrida) é importante no triatlo, mas, além disso, a interação entre cada um deles deve ser levada em conta para obter o melhor desempenho em uma prova, pois eles são realizados de forma contínua e sem intervalo entre cada etapa. A natação é a primeira fase da prova e foi investigada sua interferência no desempenho do ciclismo, autores avaliaram participantes de *Ironman*, após nadarem 3 km e não houve diferença nas respostas fisiológicas do ciclismo após a natação, assim como no seu desempenho (LAURSEN et al., 2000). A explicação para os resultados pode estar na utilização de diferentes grupos musculares responsáveis pela propulsão nas duas etapas, ocasionando diferentes adaptações e respostas fisiológicas no exercício.

Laursen et al. (2000) testaram o efeito de nadar 3000 metros no desempenho de três horas de ciclismo em triatletas treinados para provas de longa distância, o principal resultado do estudo foi que a natação não alterou o desempenho do ciclismo, com isso, as pesquisas têm avançado no sentido de avaliar a corrida após o ciclismo, ou seja, as duas etapas finais do triatlo. Triatletas foram avaliados em uma corrida de 5 km de forma isolada (controle) e corridas após pedalar 20 km em diferentes intensidades, e foi concluído que na situação na qual os triatletas pedalarão nas intensidades mais altas (91-95% e 96-100%) o tempo da corrida foi maior, entretanto o desempenho geral foi melhor nessa situação do que na

execução de intensidades mais baixas de pedalada (80-85% e 86-90%). Neste caso, foi vantajoso ao atleta pedalar em uma intensidade alta não obstante o desempenho de corrida tenha diminuído, pois o desempenho final na prova foi melhor (SURIANO e BISHOP, 2010).

Porém, é preciso cautela na utilização dos resultados citados quando extrapolados para um grupo de atletas não homogêneo em termos de desempenho. Por exemplo, a resposta mecânica da corrida após o ciclismo é diferente entre atletas altamente treinados e atletas que treinam moderadamente (MILLET e MILLET et al., 2000). Portanto, um atleta de nível médio que pedalar em uma intensidade muito alta pode executar a corrida em velocidade média menor do que é capaz e até não completar a prova. Essa resposta parece depender do nível de treinamento do atleta e também das distâncias de cada prova.

Em atletas da elite mundial do triatlo o recrutamento muscular, os ângulos plano sagital e a ECO não se alteram após a execução do ciclismo em baixa e alta intensidade (BONACCI et al., 2011). Em outro estudo que comparou atletas de elite e atletas de nível médio a ECO melhorou 3,7% para elite após um teste máximo de ciclismo enquanto que para atletas de nível médio a ECO piorou 2,3% comparando os resultados com uma corrida controle (sem ciclismo anterior) (MILLET e MILLET et al., 2000). Em estudo anterior, após pedalar 40 km o consumo de O_2 aumentou de 48,3 para 51,7 $ml\ kg^{-1}\ min^{-1}$ na corrida, e outras variáveis cardiorrespiratórias demonstraram alteração, enquanto que o comprimento e frequência de passada não se alteraram (HUE et al., 1998). Podemos observar que triatletas de alto nível têm respostas fisiológicas diferentes de atletas amadores, e com isso existem dúvidas quanto ao comportamento do consumo de oxigênio, e de variáveis biomecânicas que podem alterar-se com efeito agudo do ciclismo na corrida posterior. A biomecânica pode auxiliar a explicar a eficiência do movimento o trabalho mecânico e os parâmetros espaço temporais que auxiliam a identificar a demanda metabólica exigida pela corrida.

O prejuízo na ECO após o ciclismo pode ser parcialmente explicado por alterações fisiológicas como: depleção de glicogênio, fadiga dos musculatura respiratória, desidratação e fadiga muscular do membro inferior (BONACCI e CHAPMAN et al., 2009). No entanto, fatores biomecânicos também estão presentes, dentre eles, o ângulo do tornozelo durante o contato do pé com o solo foi considerada uma variável importante para a predição de mudanças na ECO após o ciclismo (BONACCI e GREEN et al., 2010). Alterações no recrutamento muscular podem influenciar a ECO por meio da rigidez do sistema massa mola, diminuindo a energia elástica armazenada principalmente pelos tendões.

Durante a corrida, o atleta adota um padrão de locomoção que requer menor custo energético (ex.: comprimento e frequência de passada) (CAVANAGH e WILLIAMS, 1982). Em contraste, a cadência auto selecionada durante o ciclismo não é a mais econômica (MARSH e MARTIN., 1997). Estudos demonstraram que a cadência mais econômica de pedalada para pessoas treinadas ou não treinados variou de 50 a 60 rpm (rotações por minuto) (MARSH e MARTIN., 1997), enquanto que os ciclistas naturalmente selecionam cadencias entre 80 e 90 rpm (TAKAISHI et al., 1996). Além disso, foi analisado o efeito de três cadências de pedalada (60, 80, 100 RPM) com intensidade de $\approx 80\%$ do VO_{2max} em 3km de corrida, não houve diferença no desempenho da corrida entre as três cadências, contudo em comparação com a corrida isolada o desempenho foi pior quando realizado o ciclismo anterior a corrida (BERNARD et al., 2003). Então, o desempenho da corrida no triatlo é independente da cadência adotada no ciclismo.

O ritmo de corrida adotado pelo atleta logo após a transição do ciclismo para a corrida altera o desempenho de toda a corrida. Quando triatletas iniciaram sua corrida com uma intensidade 5% maior que a velocidade da corrida controle o desempenho ao longo da prova

diminuiu, enquanto que ao iniciar a corrida em ritmo 5 e 10% abaixo o desempenho não teve diferença comparada a corrida controle (HAUSSWIRTH et al., 2010).

2.2 Trabalho e eficiência mecânica

Durante a corrida nosso corpo produz uma energia mecânica para gerar a propulsão necessária para se locomover. Para que o movimento ocorra e assim o trabalho mecânico é preciso “combustível”, ou seja, energia metabólica, que em esportes de longa duração, como o triatlo, advém principalmente por meio da via aeróbia. O trabalho mecânico gerado para percorrer determinada distância depende da energia metabólica despendida, assim é possível avaliar a eficiência da corrida que é definida como o quociente entre energia mecânica e a energia metabólica durante a locomoção e é descrita pela seguinte equação: $Eff = P_{mec}/P_{met}$ onde P_{mec} significa potência mecânica e P_{met} potência metabólica.

O trabalho mecânico pode ser dividido em duas componentes o trabalho mecânico externo (W_{ext}) e interno (W_{int}): onde W_{ext} é o trabalho para elevar e acelerar o centro de massa (CM) corporal em relação ao ambiente e o W_{int} está relacionado à aceleração dos membros em relação ao CM. A soma entre W_{ext} e W_{int} é o trabalho mecânico total W_{tot} e a potência mecânica (P_{mec}) é o trabalho mecânico normalizado pelo tempo (CAVAGNA E KANEKO, 1977; SAIBENE E MINETTI, 2003). O trabalho mecânico foi verificado em protocolos de corrida de alta intensidade e não foram encontradas diferenças no W_{mec} após teste tanto para W_{int} quanto para W_{ext} (AVOGADRO et al., 2003).

Em triatletas foi encontrado um estudo que avaliou o trabalho mecânico da corrida após o ciclismo e encontrou manutenção do trabalho mecânico em triatletas de nível médio, no protocolo de avaliação os atletas correram sete minutos antes e após um teste de ciclismo

incremental em uma velocidade média correspondente a prova de 10 km de corrida no triatlo (MILLET et al., 2000), neste mesmo estudo é possível inferir sobre a *Eff* pois são mensurados custo mecânico e metabólico e podemos observar uma pequena diminuição da eficiência após o ciclismo, entretanto é um valor pequeno e como não foi mensurado diretamente não é possível confirmar este dado.

A eficiência de corrida depende da geração de trabalho mecânico, que reflita, por exemplo, na distância percorrida a cada ciclo de passada, e na minimização do gasto energético, que por sua vez é o responsável pelo trabalho mecânico (KYRÖLÄINEN et al., 2001). Sabe-se que a *Eff* aumenta com o incremento da velocidade de corrida (CAVAGNA E KANEKO, 1977), mas não foram encontrados estudos que avaliassem de forma direta o efeito do ciclismo na *Eff* da corrida, sabe-se que uma melhor *Eff* pode ser atingida aumentando o trabalho mecânico sem aumentar P_{met} .

2.3 Parâmetros do sistema massa-mola e espaço temporais

A eficiência da corrida está relacionada com o mecanismo elástico de transformação de energia advindo do ciclo alongamento encurtamento das unidades músculo-tendão verificado através do modelo físico matemático massa-mola (BLICKHAN 1989; MCMAHON e CHENG 1990; CAVAGNA et al., 2008). A eficiência da corrida é dependente da energia elástica transferida através das unidades musculo-tendão.

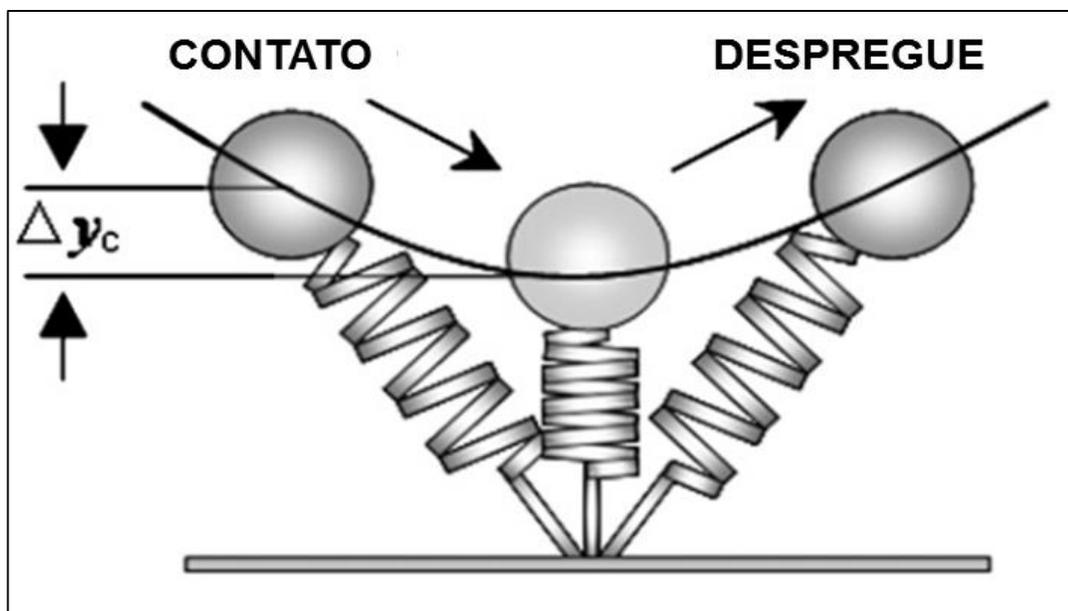


Figura 1. Adaptada de Hobara et al. (2010) Modelo massa mola da corrida. O membro inferior representado por uma mola, a qual é comprimida durante a primeira metade do contato e volta a estender na segunda metade do contato. O deslocamento vertical máximo do centro de massa durante o tempo de contato do pé com o solo é representado por $y_{\Delta c}$.

Dentre os parâmetros descritos pelo modelo massa-mola, estão a rigidez vertical do sistema (K_{vert}) razão entre a força máxima e o deslocamento descendente máximo vertical do CM conforme esse alcança seu ponto mais baixo, isto é, no meio da fase de apoio e a rigidez do membro inferior (K_{leg}) razão entre a força máxima e a máxima “compressão” da perna (FARLEY e GONZÁLEZ, 1996).

Na literatura, são descritos diferentes métodos para mensurar a rigidez da perna com base em parâmetros cinéticos e cinemáticos. Blum et al. (2009) ao comparar cinco métodos de estimativa de K_{leg} sendo quatro deles baseados em parâmetros nas forças de reação do solo (FRS) e um baseado em parâmetros espaço temporais, o melhor método e de mais simples aplicação foi baseado em parâmetros espaço temporais. Morin et al. (2005) por meio de um método que utiliza de parâmetros mecânicos simples como: velocidade horizontal, comprimento da perna, do tempo de voo, tempo de contato e massa corporal para estimativa de K_{leg} e K_{vert} , obtiveram valores de rigidez que variaram de 0,67% a 6,93% abaixo dos

valores do método que utilizou a FRS para calcular os parâmetros de rigidez, sendo considerados aceitáveis para utilização.

No triatlo a rigidez do sistema massa-mola foi avaliada em atletas de nível médio e K_{leg} foi maior e K_{vert} não teve mudança após um protocolo de ciclismo de 30min a $\approx 80\%$ VO_{2max} comparada a um teste de ECO com protocolo de cinco minutos de corrida em velocidade submáxima (LE MEUR et al., 2012). Enquanto em triatletas de elite a rigidez não é alterada ao longo da corrida de 10 km dentro prova de triatlo (LE MEUR et al., 2013).

Além de dados de entrada para o cálculo de rigidez do sistema massa mola (MORIN et al., 2005) o tempo de contato e tempo de voo durante a corrida são importantes para discutir técnica de corrida em diferentes aspectos, como em corridas de longa duração (MORIN et al., 2011); efeito do ciclismo (FRAGA et al., 2013), o efeito da fadiga (BORRANI et al., 2003), esses dados podem ser coletados com diferentes técnicas como: forças de reação do solo, acelerômetro, pressão plantar e também a cinemática. O comprimento e frequência de passada (CP e FP) da corrida também são variáveis espaciais bastante avaliadas na literatura, sabe-se que a frequência de passada se ajusta para a maior ECO do atleta e se altera com a mudança de velocidade (CAVANAGH e WILLIAMS 1982).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Amostra

Participaram deste estudo 14 triatletas, do sexo masculino (MD \pm DP: idade = 30 ± 5 anos, massa corporal = $74,2 \pm 6,8$ kg, estatura = $179,1 \pm 7,3$ cm, $VO_{2max} = 65,3 \pm 2,7$ ml.kg.⁻¹min⁻¹). O tempo de prática do esporte médio foi de $6,8 \pm 3,0$ anos, com um volume de treino semanal médio (km) de ciclismo: 260 ± 40 ; de corrida: 43 ± 9 ; de natação: 11 ± 3 . O cálculo amostral foi realizado no programa Winpepi versão 4.0 para o qual foram adotados um nível de significância de 0,05 e um poder de 90% e utilizados os estudos de Millet et al. (2000), Bonacci et al. (2011), Rabita et al. (2011) e Le Meur (2013) e foi adotado o maior n (14).

3.2 Desenho experimental

O presente estudo foi aprovado pelo comitê de ética em pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) com número de registro: 579.277 e se caracteriza como pesquisa *ex-post-facto*, com modelo descritivo comparativo de corte transversal.

No presente estudo cada sujeito realizou quatro testes em dias diferentes e com um intervalo de no mínimo 72 horas entre cada teste. Nas duas primeiras visitas, foram realizados os testes máximos de corrida e ciclismo, que serviram para determinar a carga no ciclismo prévio à corrida e a velocidade do teste de economia de corrida. Na próxima etapa os sujeitos realizaram os testes de economia de corrida com e sem ciclismo prévio (Figura 1).

TESTE	Intervalo	TESTE	Intervalo	TESTE	Intervalo	TESTE
VO _{2max} 	Mínimo 72 h	VO _{2max} 	Mínimo 72 h	ECO e Eff 	Mínimo 72 h	ECO e Eff 
Consumo de O ₂		Consumo de O ₂		Consumo de O ₂ Cinemetria		Consumo de O ₂ Cinemetria

Figura 2. Desenho experimental da coleta de dados. Os testes foram realizados em quatro dias diferentes, as coletas de VO_{2max} (corrida e ciclismo) ocorreram em ordem randomizada, e os testes submáximos foram realizados após também em ordem randomizada e com um intervalo de no mínimo 72 horas entre elas.

3.3 Procedimentos

3.3.1 Teste: Consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) na corrida

O teste de VO_{2max} de corrida teve como objetivo determinar o segundo limiar ventilatório (2° LMV) e o consumo máximo de oxigênio para caracterizar a amostra e determinar a velocidade submáxima para a avaliação da economia de corrida.

Os sujeitos foram preparados para o teste, com a colocação do sensor de batimentos cardíacos (FS1, POLAR, Kajaani, Finland) e máscara de neoprene para a coleta de gases com utilização do analisador de gases portátil VO2000 (Medgraphics, St Paul, Minnesota, EUA), do tipo caixa de mistura, coletando os gases e fazendo a média da amostra a cada 5 segundos. O teste foi iniciado quando a razão de troca respiratória (RER) se encontrava abaixo de 0,90. A corrida foi realizada em uma esteira rolante (INBRAMED ATL, Porto Alegre, Brasil). A velocidade inicial foi de 10 km.h⁻¹, com um incremento de 1 km.h⁻¹ a cada um minuto, em inclinação fixa de 1% (JONES e DOUST, 2006), os testes tiveram duração de 8 a 15 minutos.

Os critérios utilizados para a validação do teste foram o platô de consumo de O₂ em dois estágios consecutivos e a RER maior que 1,1 (HOWLEY et al., 1995). Ambos os critérios deveriam ser alcançados para a validação do teste. Os sujeitos foram incentivados e motivados verbalmente para alcançar o seu máximo desempenho.

Após a validação do teste, a velocidade da esteira foi diminuída progressivamente até que cada indivíduo se sentisse recuperado o suficiente para sair da esteira. Após o teste ergométrico, os dados do analisador de gases foram exportados para uma planilha do Microsoft Excel© para a determinação do VO_{2max} e dos limiares ventilatórios.

O 2° LMV e o VO_{2max} foram identificados por três pesquisadores experientes por meio da inspeção da curva de ventilação e equivalente respiratório - VE/VCO₂. Quando dois dos três fisiologistas encontraram o mesmo valor de 2° LMV e VO_{2max} , esses valores foram adotados. Quando todos os fisiologistas encontraram valores diferentes de LMV, o valor intermediário foi considerado como sendo o LMV. Foram identificadas as velocidades no 2° LMV.

3.3.2 Teste: Consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) no ciclismo

O teste de VO_{2max} de ciclismo teve como objetivo determinar o 2° limiar ventilatório (2° LMV) e o consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) para caracterizar a amostra e determinar a carga do ciclismo prévio ao teste experimental de ECO e *Eff* da corrida.

Foi realizado um aquecimento de 10 minutos a 150 watts em sua própria bicicleta, posicionada em um ciclossimulador estacionário (Computrainer, ProLab 3D, Racermate Inc., Seattle, EUA). O teste máximo foi iniciando a 100 W, com incremento de 25 W por minuto e interrompido quando o sujeito atingiu a exaustão ou não manteve a cadência mínima de 70 rpm. A cadência foi mantida próxima a 90 rpm e controlada por meio de *feedback* visual (Computrainer, ProLab 3D, Racermate Inc., Seattle, EUA). O VO_2 foi mensurado com a utilização do analisador de gases VO2000 (Medgraphics, St Paul, Minnesota, EUA) do tipo caixa de mistura, com auto-calibração do equipamento realizada sempre no período anterior a cada teste.

3.3.3 Testes: Economia de corrida e eficiência mecânica (ECO e *Eff*) com e sem ciclismo prévio

Cada teste teve início com a coleta do consumo de O₂ em repouso na posição ortostática durante 6 minutos. Logo após foram fixados os marcadores reflexivos nos pontos anatômicos do modelo cinemático adotado, após foi realizado um aquecimento de 10 minutos na esteira em uma velocidade de 10 km.h⁻¹ e o teste de corrida de 20 minutos a 14 km.h⁻¹. A velocidade do teste de ECO foi definida calculando 80% da velocidade de 2° LMV (13,9 ± 0,7 km.h⁻¹) então foi adotada uma velocidade única de 14 km.h⁻¹ para os 14 sujeitos do estudo.

O teste de economia de corrida com ciclismo prévio teve o mesmo protocolo de corrida na esteira, com adição de ciclismo realizado em bicicleta estacionária. A bicicleta foi fixada em ciclossimulador estacionário (Computrainer, ProLab 3D, Racermate Inc., Seattle, EUA) onde os sujeitos pedalarão durante 30 minutos a uma potência de 80% (251 ± 24 watts) do 2° LMV em cadência livre e realizavam a transição do ciclismo para a corrida no tempo de 1 minuto. Foram analisados o VO₂ em quatro estágios durante o teste de corrida: dos 3' aos 5' minutos, dos 8' aos 10' minutos, dos 13 aos 15' minutos e dos 18' aos 20' minutos.

Em conjunto com a coleta de VO₂ foram coletados os dados cinemáticos 3D com a utilização de marcadores reflexivos gravados pelo sistema de análise de movimento Vicon (Vicon Oxford, Oxford, Reino Unido) formado por seis câmeras (BONITA, Vicon Oxford, Oxford, Reino Unido) com uma frequência de amostragem de 200Hz, durante os estágios de tempo descritos. Os sujeitos utilizaram um modelo de 18 marcadores reflexivos, colocados nos seguintes locais: tuberosidade do 5° osso do metatarso, tuberosidade lateral do calcâneo, maléolo lateral, epicôndilo lateral do fêmur, trocânter maior do fêmur, cabeça do terceiro metacarpo, epicôndilo lateral do úmero, tubérculo maior do úmero, tubérculo articular do osso temporal, colocados simetricamente do lado direito e esquerdo (NARDELLO et al.,

2010, SEMINATI et al., 2013) Os marcadores reflexivos foram reconstruídos no programa Nexus (Vicon Oxford, Oxford, Reino Unido) como dados de posição, foram filtrados utilizando o filtro butterworth de 4ª ordem com frequência de corte de 5 Hz e exportados em matrizes numéricas, (x, y e z de cada marcador) para ambiente de programação matemática (LabVIEW® 12.0, National Instruments, Austin, EUA).

3.4 Processamento dos dados

3.4.1 Economia de corrida

O consumo de oxigênio foi considerado como economia de corrida, pois todos os corredores estavam na mesma velocidade. Foi calculada média do VO_2 de exercício nos quatro estágios (3' - 5', 8' - 10', 13' - 15' e 18' - 20') durante o teste de economia com e sem ciclismo prévio. Além disso, foi calculado o percentual do 2ºLMV e VO_{2max} para cada estágio da corrida.

3.4.2 Trabalho mecânico (W_{mec})

Para o cálculo do trabalho mecânico externo (W_{ext}): a energia mecânica total do CM (E_{tot}) foi obtida através do somatório das variações da energia potencial (EP) e energia cinética (EK) durante uma passada (WILLEMS et al., 1995), como observado na seguinte equação:

$$E_{tot(t)} = EP_{(t)} + EK_{(t)}.$$

O W_{ext} ou o trabalho necessário para elevar e acelerar o CM em relação ao ambiente externo é a soma dos incrementos positivos de energia total (E_{tot}), na equação a seguir:

$$W_{\text{ext}} = \Delta E_{\text{tot}}$$

Para a obtenção do trabalho mecânico interno (W_{int}): ou o trabalho necessário para elevar e acelerar os CM segmentares em relação ao CM corporal foi determinado utilizando a equação de Cavagna e Kaneko (1977) e Willems et al. (1995):

$$W_{\text{int}} = \sum 0,5 m_i v_i^2 + 0,5 m_i K_i \omega_i^2$$

onde m_i é massa do segmento i (em kg), v_i é velocidade relativa do CM do segmento i em relação ao CM corporal (em metros por segundo), K_i é o raio de giração do segmento i (em metros) e ω_i é a velocidade angular do segmento i (em radianos por segundo). Os dados de massa dos segmentos e raio de giração foram obtidos das tabelas antropométricas de Zatsiorsky (1998).

Enfim, para o cálculo do trabalho mecânico total (W_{tot}): o W_{tot} ou o trabalho necessário para sustentar a locomoção é obtido do somatório dos incrementos positivos do W_{int} e do somatório dos incrementos positivos do W_{ext} (CAVAGNA e KANEKO, 1977) descrito na seguinte equação:

$$W_{\text{tot}} = |W_{\text{ext}}| + |W_{\text{int}}|$$

3.4.3 Eficiência mecânica

A Eff de locomoção é definida como fração da P_{met} que é transformada em P_{mec} , durante uma passada (CAVAGNA e KANEKO, 1977). E foi calculada através da seguinte equação:

$$Eff = P_{\text{mec}}/P_{\text{met}}$$

onde, Eff é a eficiência mecânica, P_{mec} é a potência mecânica, P_{met} é a potência metabólica. A P_{mec} é dada pela multiplicação do W_{tot} pela velocidade horizontal obtida pelo

marcador eletrônico da esteira. A P_{met} foi calculada como a média do VO_2 de exercício em cada estágio, subtraída pelo VO_2 de repouso, multiplicado por uma constante de conversão de mililitros de oxigênio para Joules de 20,9 (BLAXTER 1989), então multiplicado pela velocidade de corrida (DI PRAMPERO 1986; SAUNDERS et al., 2004).

3.4.4 Rigidez vertical (K_{vert}) e rigidez do membro inferior (K_{leg})

K_{vert} e K_{leg} , respectivamente, foram calculados de acordo com Morin et al. (2005):

$$\hat{K}_{vert} = \hat{F}_{max} \cdot \Delta\hat{y}_c^{-1}$$

onde \hat{F}_{max} é a força máxima estimada e $\Delta\hat{y}_c$ pico de deslocamento vertical do centro de massa (CM) estimado durante o contato.

Com

$$\hat{F}_{max} = mg \frac{\pi}{2} \left(\frac{t_a}{t_c} + 1 \right)$$

m é a massa corporal (kg), t_a e t_c , respectivamente, tempo de aéreo e tempo de contato (em s).

$$\Delta\hat{y}_c = \frac{\hat{F}_{max} \cdot t_c^2}{m \pi^2} + g \frac{t_c^2}{8}$$

E K_{leg} foi calculado como:

$$\hat{K}_{leg} = \hat{F}_{max} \cdot \Delta\hat{L}^{-1}$$

onde $\Delta\hat{L}$ é o pico de deslocamento vertical da perna durante o contato.

Com

$$\Delta \hat{L} = L - \sqrt{L^2 - \left(\frac{v t c^2}{2}\right)^2} + \Delta \hat{y}_c$$

onde L é o comprimento do membro inferior de cada sujeito e v é a velocidade horizontal obtida pelo marcador eletrônico da esteira..

Os dados de entrada das equações dos parâmetros do sistema massa-mola são: comprimento de membro inferior medido em metros (distância entre o trocânter maior do fêmur e o chão); velocidade de corrida medida digitalmente pela esteira rolante; massa corporal medida com uma balança digital com resolução de 0,1 kg (FILIZOLA); o tempo de contato do pé com o solo (t_c) e o tempo aéreo (t_a) foram calculados utilizando o deslocamento vertical dos pontos colocados no maléolo e no metatarso, através do programa NEXUS (Vicon Oxford, Oxford, Reino Unido). Onde o tempo de contato foi determinado pela altura do marcador reflexivo do maléolo no momento em que o pé entra em contato o solo até o momento em que o marcador reflexivo do metatarso atinja uma altura conhecida onde o pé tenha seu último contato com o solo. E o tempo aéreo foi determinado como o primeiro momento que o pé não estava em contato com o solo através da altura do marcador reflexivo do metatarso até o último momento em que o pé esteja na fase aérea, determinado através da altura do marcador reflexivo do maléolo. O comprimento da passada (CP) foi calculado como a distância entre o primeiro contato do pé com o solo e o primeiro contato realizado no passo subsequente e a frequência de passada foi determinada como o número de passadas por segundo (FP) (NUMMELA et al., 2006; TARTARUGA 2012).

3.4.5 Procedimentos estatísticos

Para analisar os dados coletados foi utilizada estatística descritiva. Os testes estatísticos foram realizados para comparar o efeito do ciclismo prévio à corrida nas variáveis dependentes com a corrida sem ciclismo prévio e os quatro momentos ao longo do teste de ECO. O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para análise da normalidade dos dados e o teste de Levene para verificar a homogeneidade das variâncias. Quando houve interação entre as variáveis independentes tempo e ciclismo prévio (com e sem ciclismo), foi realizado o desdobramento da variável independente (tempo ou ciclismo prévio) para determinar qual delas exercia o efeito principal, utilizando ANOVA para medidas repetidas de um fator. Quando houve interação do variável ciclismo prévio, foi realizado o teste T pareado para comparação das situações com e sem ciclismo prévio e ANOVA one-way para comparar as variáveis dependentes nos diferentes tempos no teste de economia de corrida.

O índice de significância adotado foi de $\alpha=0,05$ e todos os dados foram processados no pacote estatístico SPSS versão 17.0.

4. RESULTADOS

4.1 Economia de corrida

Não houve diferença na ECO entre as situações com e sem ciclismo prévio e nos diferentes estágios do teste de economia (Figura 3). A intensidade da corrida em cada situação é descrita em percentual dos valores de VO_{2max} e o 2°LMV com valores aproximados de 82% e 72% respectivamente.

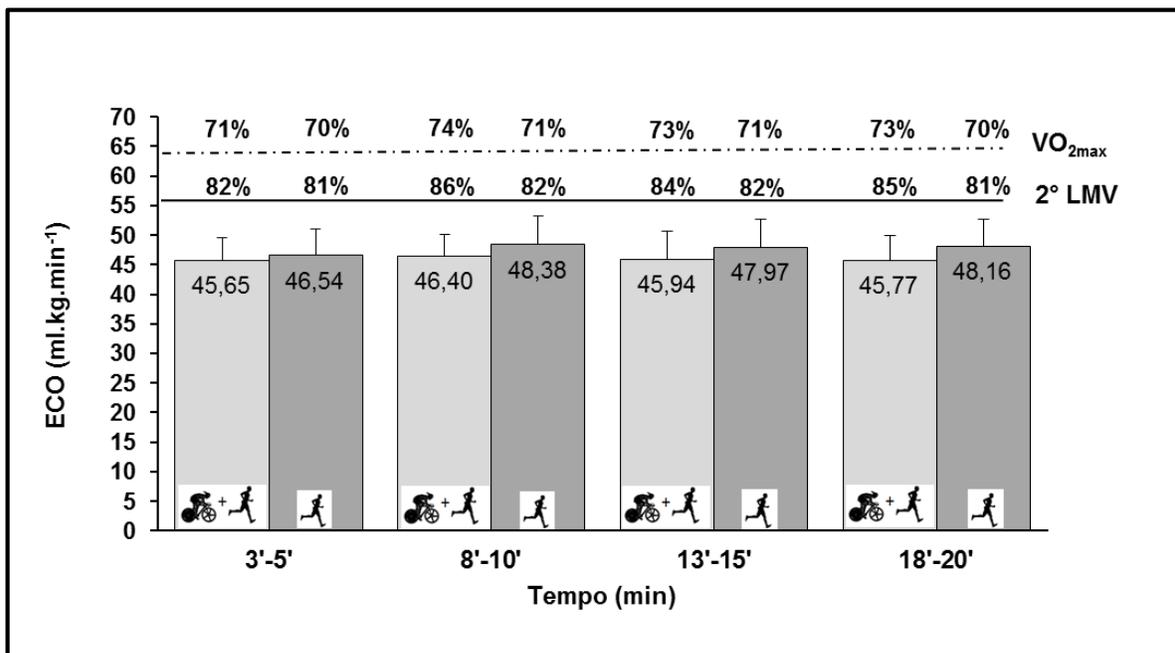


Figura 3. Consumo de oxigênio durante o teste de 20 minutos a 14 km.h⁻¹. As barras de cor cinza claro e escuro representam a média e o desvio padrão do consumo de O₂ da corrida com ciclismo prévio e da corrida isolada, respectivamente. A linha tracejada representa a média percentual do VO_{2max} e os valores descritos representam o percentual do VO_{2max} para cada situação. A linha contínua representa o percentual do 2°LMV e os valores descritos representam o percentual do 2°LMV para cada situação. ($p>0,05$).

4.2 Trabalho mecânico

O trabalho mecânico interno (W_{int}) não apresentou diferenças ($p>0,05$) no fator com ou sem ciclismo prévio, nem no fator tempo (Figura 4). Os valores de W_{int} foram em média $0,59 \pm 0,01$ J.kg⁻¹.m⁻¹ com ciclismo anterior e $0,57 \pm 0,01$ J.kg⁻¹.m⁻¹ sem ciclismo anterior.

Quanto ao trabalho mecânico externo (W_{ext}) também não foram encontradas diferenças com e sem ciclismo prévio ($p>0,05$). No estágio final, os corredores apresentaram um menor W_{ext} comparados com o terceiro e segundo estágio ($p<0,05$) na situação sem ciclismo prévio à corrida. O W_{tot} apresentou as mesmas diferenças do W_{ext} para a corrida sem ciclismo prévio.

O trabalho mecânico total (W_{tot}) refletiu as diferenças encontradas no W_{ext} , com uma diminuição no estágio final comparada aos estágios intermediários ($p<0,05$) na situação sem ciclismo prévio.

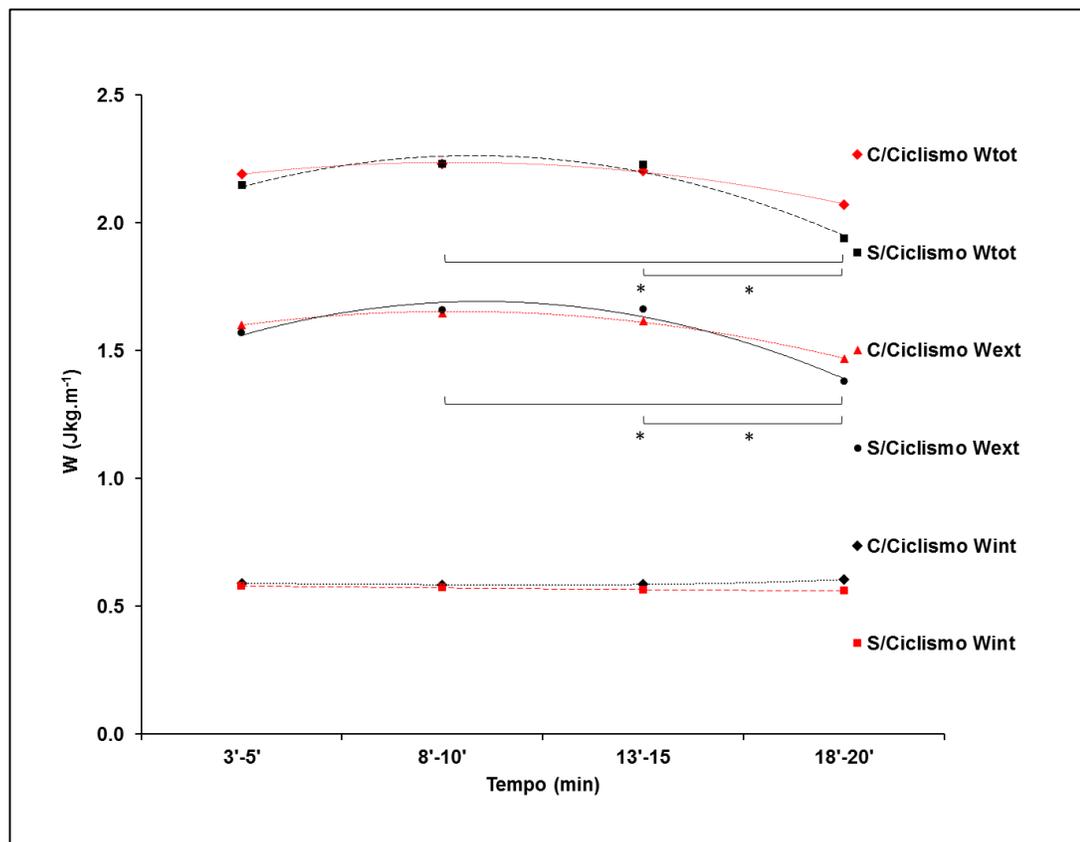


Figura 4. Componentes do trabalho mecânico ao longo da corrida de vinte minutos a 14 km.h^{-1} . Os quadrados vermelhos representam os valores de trabalho mecânico interno sem ciclismo prévio (S/Ciclismo Wint). Os losangos pretos representam os valores de trabalho mecânico interno com ciclismo prévio (C/Ciclismo Wint). Os círculos pretos representam os valores de trabalho mecânico externo sem ciclismo prévio (S/ Ciclismo Wext). Os triângulos vermelhos representam os valores de trabalho mecânico externo com ciclismo prévio (C/ Ciclismo Wext). Os quadrados pretos representam os valores de trabalho mecânico total sem ciclismo prévio (S/Ciclismo Wtot). Os losangos vermelhos

representam os valores de trabalho mecânico total com ciclismo prévio (C/ Ciclismo Wtot). * representa $p < 0,05$ na situação de corrida isolada.

4.3 Potência metabólica e mecânica e *Eff*

Os dados de potência metabólica são derivados dos dados de ECO e os dados de potência mecânica são derivados do trabalho mecânico e são apresentados para ajudar na interpretação dos valores de eficiência mecânica. A potência metabólica (P_{met}) não apresentou diferenças entre os momentos e entre a corrida isolada e com ciclismo prévio. A potência mecânica (P_{mec}) foi menor ao final do teste de corrida isolada no estágio final comparado ao segundo e terceiro estágios, sem diferença entre a corrida isolada e com ciclismo prévio (Tabela 1).

Tabela 1. Dados de potência metabólica e potência mecânica durante os 20 minutos de corrida a 14 km.h⁻¹ com e sem ciclismo prévio.

Tempo (min)	P_{met} (W.kg ⁻¹)		P_{mec} (W.kg ⁻¹)	
	C/bike (MD ± DP)	S/bike (MD ± DP)	C/bike (MD ± DP)	S/bike (MD ± DP)
3'- 5'	13,29 ± 1,76 ^a	13,78 ± 2,17 ^a	8,26 ± 0,60 ^a	8,11 ± 0,85 ^{a,b,c}
8'- 10'	13,53 ± 2,07 ^a	14,34 ± 2,16 ^a	8,42 ± 0,71 ^a	8,41 ± 0,79 ^{a,b}
13'- 14'	13,46 ± 1,81 ^a	14,28 ± 2,73 ^a	8,31 ± 0,63 ^a	8,40 ± 0,85 ^{a,b}
18'- 20'	13,23 ± 1,93 ^a	14,34 ± 2,16 ^a	7,82 ± 0,66 ^a	7,31 ± 0,67 ^c

Valores de potência metabólica e potência mecânica (P_{met} e P_{mec}) descritos em média e desvio padrão (MD e DP) da corrida com e sem ciclismo prévio (C/Bike e S/Bike). As letras diferentes representam o $p < 0,05$ da Anova Oneway. Sem diferenças entre C/Bike e S/Bike com $p > 0,05$ do teste t pareado.

A eficiência mecânica (Figura 5) não apresentou diferenças entre os quatro estágios nos 20 minutos de corrida a 14km.h⁻¹. Na parte final do teste, a eficiência mecânica foi maior no teste com ciclismo prévio a corrida comparada a corrida isolada com $p=0,002$.

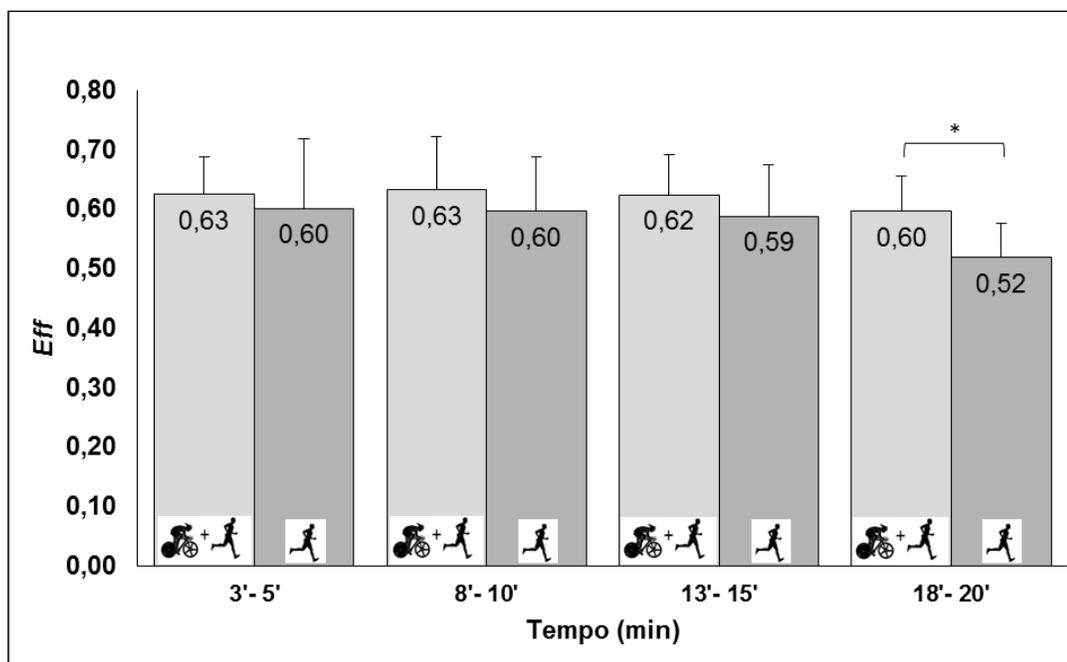


Figura 5. Eficiência mecânica no teste de economia de corrida de 20 minutos a $14 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. As barras de cor cinza claro e cinza escuro representam a média e o desvio padrão da Eff com ciclismo prévio e da corrida isolada, respectivamente. * representa $p < 0,05$ do teste t pareado.

4.4 Rigidez do sistema massa-mola e parâmetros espaço-temporais

Os componentes espaço-temporais, assim como, os parâmetros do modelo massa-mola (Tabela 2), os quais são relacionados diretamente, não apresentaram diferenças quanto aos momentos durante o teste de economia de corrida. A corrida com ciclismo prévio apresentou menor K_{leg} e K_{vert} no final do teste comparada a corrida isolada. O comprimento de passada (CP) foi menor e a frequência de passada (FP) maior quando realizado ciclismo prévio à corrida, com uma relação inversa entre as duas variáveis. Assim como o tempo de contato (t_c) foi maior e o tempo aéreo (t_a) menor no último estágio do teste com ciclismo prévio comparado o teste de corrida isolada. Além disso, foi encontrada uma maior F_{max} e menor, ΔL e Δy_c no final da corrida com ciclismo prévio comparada a corrida isolada.

Tabela 2. Dados espaço temporais e parâmetros do sistema massa-mola durante os 20 minutos de corrida a $14 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ com ciclismo prévio e sem ciclismo prévio.

Tempo (min)	Teste	CP (m)		FP (Hz)		tc (s)		ta (s)		K_{leg} ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)		K_{vert} ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)		F_{max} (N)		ΔY_c (m)		ΔL (m)
		MD \pm DP	MD \pm DP	MD \pm DP	MD \pm DP	MD \pm DP	MD \pm DP	MD \pm DP	MD \pm DP	MD \pm DP	MD \pm DP	MD \pm DP	MD \pm DP	MD \pm DP	MD \pm DP	MD \pm DP		
3'- 5'	C/ciclismo	2,59 \pm 0,10	1,46 \pm 0,06	0,253 \pm 0,026	0,092 \pm 0,017	7,37 \pm 1,42	22,77 \pm 3,27	1597 \pm 149	0,215 \pm 0,035	0,080 \pm 0,010								
	S/ciclismo	*2,65 \pm 0,12	*1,43 \pm 0,06	0,255 \pm 0,030	0,093 \pm 0,021	7,31 \pm 1,42	21,78 \pm 3,77	1585 \pm 163	0,223 \pm 0,037	0,079 \pm 0,013								
8'- 10'	C/ciclismo	2,59 \pm 0,10	1,46 \pm 0,06	0,250 \pm 0,022	0,090 \pm 0,015	7,65 \pm 1,60	22,41 \pm 3,59	1612 \pm 145	0,210 \pm 0,029	0,081 \pm 0,013								
	S/ciclismo	*2,64 \pm 0,11	*1,43 \pm 0,06	0,254 \pm 0,024	0,097 \pm 0,013	7,25 \pm 1,27	21,96 \pm 3,94	1609 \pm 150	0,213 \pm 0,035	0,081 \pm 0,012								
13'- 14'	C/ciclismo	2,60 \pm 0,09	1,45 \pm 0,05	0,250 \pm 0,020	0,093 \pm 0,012	7,62 \pm 1,23	21,95 \pm 2,87	1602 \pm 78	0,215 \pm 0,030	0,083 \pm 0,007								
	S/ciclismo	*2,65 \pm 0,10	*1,43 \pm 0,06	0,247 \pm 0,026	0,099 \pm 0,015	7,98 \pm 1,23	22,09 \pm 1,98	1650 \pm 125	*0,210 \pm 0,040	0,076 \pm 0,008								
18'- 20'	C/ciclismo	2,61 \pm 0,11	1,45 \pm 0,06	0,263 \pm 0,024	0,088 \pm 0,018	7,08 \pm 1,39	20,17 \pm 1,96	1565 \pm 105	0,230 \pm 0,036	0,089 \pm 0,013								
	S/ciclismo	*2,65 \pm 0,12	*1,43 \pm 0,06	*0,245 \pm 0,021	*0,108 \pm 0,018	*8,25 \pm 1,49	*24,44 \pm 2,89	*1712 \pm 154	*0,200 \pm 0,026	*0,077 \pm 0,009								

* Valores de $p < 0,05$ no teste t pareado. C/ciclismo e S/ciclismo representa as situações da corrida com e sem ciclismo prévio, respectivamente. CP comprimento de passada, FP frequência de passada tempo de contato com solo, ta tempo aéreo, K_{vert} rigidez do membro inferior, K_{leg} rigidez do sistema massa-mola, F_{max} força vertical máxima, ΔY_c pico de deslocamento vertical do centro de massa durante o contato, ΔL pico de deslocamento da perna durante o contato.

5. DISCUSSÃO

O objetivo geral do presente estudo foi verificar a interferência do ciclismo na corrida em triatletas de nível médio, não foram encontradas alterações na ECO após o ciclismo prévio. Ao avaliar triatletas de elite, foi observado o ciclismo prévio a corrida não alterou a ECO e o controle neuromuscular (BONACCI et al., 2011), corroborando com os resultados do presente estudo. Contudo, em estudo recente comparando a corrida após dois protocolos de ciclismo prévios em atletas bem treinados, um protocolo com intensidade de ciclismo constante e outro com intensidade variável, mostrou prejuízo fisiológico maior na corrida subsequente ao teste com intensidade variável de ciclismo (ETXEARRIA et al., 2013), o protocolo do presente estudo teve a intensidade do ciclismo constante na potência do ciclismo equivalente a 80% do 2º LMV, em competições de triatlo de longa duração e sem utilização do “vácuo” entre os atletas, manter a intensidade constante parece ser a melhor opção para o desempenho da corrida subsequente, enquanto que em provas mais curtas é preciso treino específico para que o nível da corrida seja mantido após um ciclismo intenso e com alterações na intensidade durante a prova.

Ao comparar o efeito do ciclismo na corrida, ele foi positivo do ponto de vista da eficiência mecânica com evidência observada ao final do teste de economia de corrida (FIGURA 3). A eficiência como razão entre o contributo mecânico e metabólico foi explicada principalmente pela diminuição do trabalho mecânico total, que por sua vez teve relação direta com W_{ext} durante a corrida sem ciclismo prévio nos estágios finais do teste (FIGURA 1). Em estudo anterior, triatletas de nível médio ($VO_{2max} = 70,5 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) não apresentaram diferença no W_{ext} com e sem ciclismo prévio, porém o protocolo de corrida tinha sete minutos de duração e as variáveis mecânicas e metabólicas foram coletadas apenas uma vez durante cada teste de corrida (MILLET et al., 2000). O tempo de corrida maior para

análise biomecânica e fisiológica tem uma relação mais real com a prova que o triatleta está habituado, e pode refletir melhor o comportamento do trabalho mecânico e metabólico conduzindo a respostas com maior relação com o tempo realizado na competição.

No presente estudo o tempo de corrida foi relativamente longo e a intensidade foi de aproximadamente 70% VO_{2max} . O trabalho mecânico analisado ao longo da corrida com ciclismo prévio é o principal componente na melhor eficiência mecânica pois no presente estudo a potência metabólica permaneceu constante durante os estágios (Tabela 1), enquanto isso, no estágio final o trabalho mecânico foi maior durante o teste de corrida com ciclismo prévio. O trabalho mecânico e o consumo de O_2 foram verificados e relacionados em protocolos de corrida de alta intensidade, Candau et al. (1998) encontraram aumento no trabalho mecânico e metabólico do início para o final do teste de corrida em velocidade constante até a exaustão em triatletas, porém o W_{mec} e o VO_2 não tiveram correlação. Avogadro et al. (2003) também em protocolo de velocidade constante até a exaustão em corredores e triatletas, encontraram aumento no consumo de O_2 ao final do teste, porém, sem alteração no custo mecânico. Ao verificar a influência do trabalho mecânico sobre o componente lento do VO_2 em velocidade de corrida progressiva, pesquisadores franceses demonstraram que o componente lento do VO_2 não foi resultado de alterações no trabalho mecânico sob o efeito de fadiga (BORRANI et al., 2003). Contudo, a inferência sobre a eficiência durante testes de velocidade constante reflete em alterações em seus componentes que podem estar ligados a maior intensidade comparadas ao presente estudo. Nos estudos citados os protocolos de corrida foram intensos, porém com tempo de duração curto o que pode contribuir para a diferença nos resultados encontrados.

No presente estudo, ao final do teste de corrida com ciclismo prévio foram encontrados menores valores de rigidez comparados à corrida isolada. Essa alteração

mecânica pode conduzir a uma manutenção da eficiência mecânica comparada à corrida executada de forma isolada, demonstrando um fator de adaptação positivo dos triatletas ao ciclismo anterior. BORRANI et al. (2003) sugerem que, uma explicação para o componente lento do VO_2 durante a corrida pode ser devido a alterações no processo de armazenamento e reutilização da energia elástica. Estudos que avaliaram a corrida ao longo de um período mais longo, por exemplo 5h de corrida (DEGACHE et al., 2012) e 24h (MORIN et al., 2011) encontraram aumento em K_{leg} e K_{vert} ao final da corrida, essas alterações podem ser interpretadas como uma técnica mais “suave” com uma diminuição da oscilação vertical do sistema massa-mola. Além disso, a rigidez do sistema massa-mola tem uma correlação negativa com o custo energético da corrida, em outras palavras, quanto maior a rigidez menor a economia de corrida. Com isso, o atleta é mais econômico em razão da mecânica de corrida (DALLEAU et al., 1998), apesar de no presente estudo não ter diferenças na ECO entre a corrida isolada e com ciclismo prévio, a Eff do teste de corrida isolada diminuiu ao longo dos momentos, enquanto que na corrida com ciclismo prévio a Eff manteve-se mostrando uma influência positiva da manutenção da energia elástica para manutenção da Eff .

O sistema massa-mola, em sua base teórica descreve uma reutilização da energia elástica através do ciclo alongamento encurtamento das unidades músculo tendão (BLICKHAN 1989; MCMAHON e CHENG 1990; CAVAGNA et al., 2008), de acordo com os resultados é possível inferir que a eficiência da corrida é dependente da energia elástica transferida através das unidades musculo-tendão, pois no ponto de aumento de K_{leg} e K_{vert} houve um menor trabalho mecânico o que gerou uma menor eficiência no estágio final do teste de corrida isolada, comparada ao teste com ciclismo prévio.

A especificidade do treinamento é um fator importante para determinar o desempenho de atletas, triatletas que utilizam como forma de treinamento três modalidades tem

adaptações mecânicas (LUNA et al., 2012) e metabólicas (BENTLEY et al., 2002) comparados, por exemplo, a atletas que treinam a corrida de forma isolada. Os triatletas parecem ser mais preparados para correr após pedalar do que de forma isolada. Triatletas de alto nível são mais econômicos após pedalar (MILLET et al., 2000), o que os diferencia de atletas médios, pois caso eles mantenham uma mesma P_{mec} eles serão mais eficientes e terão melhor desempenho. Em nosso estudo a P_{mec} não diminuiu na corrida com ciclismo prévio (TABELA 1), e no final do teste os atletas se mostraram mais eficientes comparados a corrida isolada, justificando a adaptação específica desses triatletas com vantagem mecânica e metabólica quando executam o ciclismo anterior à corrida. Além disso, outro estudo comparando diferentes cadências de ciclismo: cadência ótima do ponto de vista energético ($72,5 \pm 4,6$ RPM), cadência livre ($81,2 \pm 7,2$ RPM) e cadência teórica ótima do ponto de vista mecânico (90 RPM NEPTUNE E HULL, 1999) demonstraram que cadências mais altas contribuem para um incremento no custo metabólico durante o ciclismo e ocorrência de um componente lento do VO_2 na corrida posterior (VERCRUYSSSEN et al., 2002), no presente estudo os atletas apresentaram cadências auto selecionadas de ≈ 80 RPM, o que ajuda a entender a manutenção do consumo de oxigênio entre os testes com e sem ciclismo prévio.

Uma limitação importante do estudo está ligada ao protocolo de velocidade constante adotado no teste de economia, quando comparamos com testes de campo que tem uma validade ecológica maior. Contudo os testes em laboratório são capazes de isolar fatores que alterariam as variáveis em função da variação da velocidade que modifica os componentes biomecânicos e fisiológicos. Em estudo comparando o comportamento do sistema massa-mola em quatro momentos nos $\approx 2,400m$ - $4,800m$ - $7,200m$ - $9,600m$ durante corrida de 10km em uma prova de triatlo, as variáveis K_{leg} e K_{vert} do 1º até o 3º momentos diminuíram e no

4º momento houve um aumento desses parâmetros, esse comportamento está ligado a alteração da velocidade que ocorreu ao longo da prova (MEUR et al., 2013). Mantendo a velocidade constante, dentro de uma faixa de intensidade controlada, conseguimos isolar este fator e observar que o ciclismo anterior também influencia a rigidez do sistema massa-mola.

No presente estudo, o comprimento e a frequência de passada, apresentaram uma relação inversa, com menor comprimento e maior frequência de passada quando realizado o ciclismo prévio à corrida. Não foi observada mudança na ECO entre a corrida com e sem ciclismo prévio, demonstrando que os atletas alteraram sua mecânica para otimizar sua economia de corrida, pois corredores optam naturalmente por uma combinação ótima entre frequência e comprimento de passada para minimizar o custo metabólico (CAVANAGH et al., 1982; HUNTER et al., 2007). Além disso, o aumento da frequência e a redução no comprimento da passada parecem reduzir a magnitude dos vários fatores biomecânicos associados com lesões de corrida (SCHUBERT et al., 2013), essa alteração mecânica parece acontecer naturalmente como um fator de proteção para os triatletas. A F_{max} , ΔL e Δy_c estimadas, durante o teste com ciclismo prévio, apresentaram menores valores ao final comparadas com o a corrida isolada, assim como encontrado por Morin et al (2011) após uma corrida de longa duração (24h) corroborando com a hipótese de uma alteração na mecânica para manutenção da ECO e do trabalho mecânico após o protocolo de ciclismo em intensidade moderada.

6. CONCLUSÃO

O ciclismo prévio à corrida não altera o consumo de oxigênio de triatletas de nível médio. O trabalho mecânico e a rigidez do sistema massa mola são mantidos ao longo de um teste de velocidade constante quando realizado ciclismo em intensidade moderada, demonstrando que o ciclismo prévio à corrida pode contribuir para a manutenção da eficiência mecânica em triatletas. Além disso, o comprimento diminui e a frequência de passada aumenta com ciclismo prévio sem alteração no VO_2 , demonstrando uma adaptação da técnica para manutenção da ECO.

7. REFERÊNCIAS

- AVOGADRO, P.; DOLENEC, A.; BELLI, A. Changes in mechanical work during severe exhausting running. **European journal of applied physiology**, v. 90, n. 1-2, p. 165-70, 1 set. 2003.
- BERNARD, T. et al. Effect of cycling cadence on subsequent 3 km running performance in well trained triathletes. **British journal of sports medicine**, v. 37, n. 2, p. 154-8, discussion 159, 2 abr. 2003.
- BENTLEY, D. J. et al. Specific aspects of contemporary triathlon: implications for physiological analysis and performance. **Sports medicine (Auckland, N.Z.)**, v. 32, n. 6, p. 345-59, 2 jan. 2002.
- BLAXTER, K. L. Energy metabolism in animals and man. Cambridge: University Press, 1989.
- BLICKHAN The spring-mass model for running and hopping. **Journal of biomechanics** v. 22, n.22, p. 1217-27 12 abril 1989.
- BLUM, Y.; LIPFERT, S. W.; SEYFARTH, A. Effective leg stiffness in running. **Journal of biomechanics**, v. 42, n. 14, p. 2400-5, 5 out. 2009.
- BONACCI, J. et al. Change in running kinematics after cycling are related to alterations in running economy in triathletes. **Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia**, v. 13, n. 4, p. 460-4, 4 jul. 2010.
- BONACCI, J. et al. Neuromuscular adaptations to training, injury and passive interventions: implications for running economy. **Sports medicine (Auckland, N.Z.)**, v. 39, n. 11, p. 903-21, 4 jan. 2009.
- BONACCI, J. et al. Neuromuscular control and running economy is preserved in elite international triathletes after cycling. **Sports biomechanics / International Society of Biomechanics in Sports**, v. 10, n. 1, p. 59-71, 2 mar. 2011.
- BORRANI, F. et al. Does the mechanical work in running change during the VO2 slow component? **Medicine and science in sports and exercise**, v. 35, n. 1, p. 50-7, 3 jan. 2003.
- CANDAU, R. et al. Energy cost and running mechanics during a treadmill run to voluntary exhaustion in humans. **European journal of applied physiology and occupational physiology**, v. 77, n. 6, p. 479-85, 5 maio 1998.
- CAVAGNA, G.; KANEKO, M. Mechanical work and efficiency in level walking and running. **The Journal of physiology**, v. 268, n. 2, p. 467-81, 1977.
- CAVANAGH, P. R.; WILLIAMS, K. R. The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running. **Medicine and science in sports and exercise**. v.14, n. 1, p. 30-35, 1 jan. 1982.
- CONNICK, M. J.; LI, F. X. Prolonged cycling alters stride time variability and kinematics of a post-cycle transition run in triathletes. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, 16 Set. 2014, no prelo.

- DALLEAU, G. et al. The spring-mass model and the energy cost of treadmill running. **European journal of applied physiology and occupational physiology**, v. 77, n. 3, p. 257-63, 1998.
- DEGACHE, F. et al. Changes in running mechanics and spring-mass behaviour induced by a 5-hour hilly running bout. **Journal of sports sciences**, v. 31, n. 3, p. 299-304, 2 jan. 2013.
- DI PRAMPERO, P. et al. The energetics of endurance running. **European journal of applied physiology and occupational physiology**, v. 55, n. 3, p. 259-66, 1986.
- ETXEARRIA, N. et al. Physiological assessment of isolated running does not directly replicate running capacity after triathlon-specific cycling. **Journal of Sports Sciences**, p. 110, 2013.
- FARLEY, C. T.; GONZÁLEZ, O. Leg stiffness and stride frequency in human running. **Journal of biomechanics**, v. 29, n. 2, p. 181-6, 4 fev. 1996.
- FLETCHER, J. R.; ESAU, S. P.; MACINTOSH, B. R. Economy of running: beyond the measurement of oxygen uptake. **Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)**, v. 107, n. 6, p. 1918-22, 2 dez. 2009.
- FRAGA, C. et al. Comparação das variáveis eletromiográficas e cinemáticas entre uma corrida do “triathlon” e uma corrida prolongada. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, 2013.
- HAUSSWIRTH, C. et al. Pacing strategy during the initial phase of the run in triathlon: influence on overall performance. **European journal of applied physiology**, v. 108, n. 6, p. 1115-23, 4 abr. 2010.
- HOBARA, H. et al. Continuous change in spring-mass characteristics during a 400 m sprint. **Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia**, v. 13, n. 2, p. 256-61, 1 mar. 2010.
- HOWLEY, E. T.; BASSETT, D. R.; WELCH, H. G. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. 1995.
- HUE, O. et al. The influence of prior cycling on biomechanical and cardiorespiratory response profiles during running in triathletes. **European journal of applied physiology and occupational physiology**, v. 77, n. 1-2, p. 98-105, 4 jan. 1998.
- HUNTER, I.; SMITH, G. A. Preferred and optimal stride frequency, stiffness and economy: changes with fatigue during a 1-h high-intensity run. **European journal of applied physiology**, v. 100, n. 6, p. 653-61, 3 ago. 2007.
- JONES, A. M.; DOUST, J. H. A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. **Journal of sports sciences**, v. 14, n. 4, p. 321-7, 4 ago. 1996.
- KYRÖLÄINEN, H.; BELLI, A.; KOMI, P. V. Biomechanical factors affecting running economy. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 33, n. 8, p. 1330-7, 3 ago. 2001.
- LAURSEN, P. B.; RHODES, E. C.; LANGILL, R. H. The effects of 3000-m swimming on subsequent 3-h cycling performance: implications for ultraendurance triathletes. **European journal of applied physiology**, v. 83, n. 1, p. 28-33, 5 set. 2000.

- LE MEUR, Y. et al. Spring-mass behavior and electromyographic activity evolution during a cycle-run test to exhaustion in triathletes. **Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology**, v. 22, n. 6, p. 835-44, 6 dez. 2012.
- LE MEUR, Y. et al. Spring-Mass Behaviour during the Run of an International Triathlon Competition. **International journal of sports medicine**, v. 34, n. 8, p. 748-55, 4 ago. 2013.
- LUNA, N. et al. Isokinetic analysis of ankle and ground reaction forces in runners and triathletes. **Clinics**, v. 67, n. 9, p. 1023-28, 2012.
- MARSH, A. P., MARTIN, P. E. Effect of cycling experience, aerobic power, and power output on preferred and most economical cycling cadences. **Medicine and Science Sports and Exercise**. v. 29, n. 9, p. 1225-32, set. 1997.
- MCCMAHON, T. A.; CHENG, G. C. The mechanics of running: how does stiffness couple with speed? **Journal of biomechanics**, v. 23 Suppl. 1, p. 65-78, 1 jan. 1990.
- MILLET, G. P. et al. Alterations in running economy and mechanics after maximal cycling in triathletes: influence of performance level. **International journal of sports medicine**, v. 21, n. 2, p. 127-32, 2 fev. 2000.
- MILLET, G.; VLECK, V. Physiological and biomechanical adaptations to the cycle to run transition in Olympic triathlon: review and practical recommendations for training. **British Journal of Sports Medicine**, v. 34, n. 5, p. 384-390, out. 2000.
- MORIN, J. B. et al. A simple method for measuring stiffness during running. **Journal of applied biomechanics**, v. 21, n. 2, p. 167-80, mai. 2005.
- MORIN, J.-B. B.; SAMOZINO, P.; MILLET, G. Y. Changes in running kinematics, kinetics, and spring-mass behavior over a 24-h run. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 43, n. 5, p. 829-36, mai. 2011.
- NARDELLO, F.; ARDIGÒ, L. P.; MINETTI, A. E. Measured and predicted mechanical internal work in human locomotion. **Human movement science**, v. 30, n. 1, p. 90-104, 2 fev. 2011.
- NEPTUNE, R. R.; HULL, M. L. A theoretical analysis of preferred pedaling rate selection in endurance cycling. **Journal of biomechanics**, v. 32, n. 4, p. 409-15, 4 abr. 1999.
- NUMMELA, A. et al. Neuromuscular factors determining 5 km running performance and running economy in well-trained athletes. **European Journal of Applied Physiology**, v. 97, n. 1, p. 18, 2006.
- RABITA, G. et al. Changes in spring-mass behavior and muscle activity during an exhaustive run at VO_{2max} . **Medicine and Science in Sports and Exercise**, vol. 43, n. 14, p. 685-692, abr. 2011.
- ROBERTS, T.; CHEN, M.; TAYLOR, C. Energetics of bipedal running. II. Limb design and running mechanics. **The Journal of experimental biology**, v. 201, n. 19, p. 2753-62, 1998.
- SAIBENE, F.; MINETTI, A. E. Biomechanical and physiological aspects of legged locomotion in humans. **European journal of applied physiology**, v. 88, n. 4-5, p. 297-316, 3 jan. 2003.

SAUNDERS, P. U. et al. Factors affecting running economy in trained distance runners. **Sports medicine (Auckland, N.Z.)**, v. 34, n. 7, p. 465-85, 4 jan. 2004.

SCHUBERT, A.; KEMPF, J.; HEIDERSCHEIT, B. Influence of Stride Frequency and Length on Running Mechanics: A Systematic Review. **Sports Health: A Multidisciplinary Approach**, v. 6, n. 3, p. 210217, 2013.

SEMINATI, E. et al. Anatomically asymmetrical runners move more asymmetrically at the same metabolic cost. **PloS one**, v. 8, n. 9, p. e74134, 2013.

SURIANO, R.; BISHOP, D. Combined cycle and run performance is maximized when the cycle is completed at the highest sustainable intensity. **European journal of applied physiology**, v. 110, n. 4, p. 753-60, 1 nov. 2010.

TAKAISHI, T., et al. Optimal pedaling rate estimated from neuromuscular fatigue for cyclists. **Medicine and Science Sports and Exercise**, v. 28, n. 12, p. 1492-1497, dez. 1996.

TARTARUGA, M. P. et al. The Relationship Between Running Economy and Biomechanical Variables in Distance Runners. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 83, n. 3, p. 367-375, set. 2012.

VERCRUYSSSEN, F. et al. Influence of cycling cadence on subsequent running performance in triathletes. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 34, n. 3, p. 530-6, 5 mar. 2002.

WILLEMS, P. A.; CAVAGNA, G. A.; HEGLUND, N. C. External, internal and total work in human locomotion. **The Journal of experimental biology**, v. 198, n. Pt 2, p. 379-93, 3 fev. 1995.

ZATSIORSKY V. Kinematics of human motion. Champaign: Human Kinetics, 1998.

8. ANEXOS

ANEXO A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Convidamos o Sr. para participar da pesquisa INFLUÊNCIA DO CICLISMO NA EFICIÊNCIA E ECONOMIA DE CORRIDA EM TRIATLETAS, sob a responsabilidade do pesquisador Leonardo Alexandre Peyré Tartaruga a qual pretende comparar o efeito do ciclismo na corrida em triatletas.

Sua participação é voluntária e se dará por meio da realização de quatro testes realizados em dias diferentes. Durante os testes serão realizadas filmagens com câmeras especiais, que não captam a imagem do senhor, apenas dos marcadores que serão fixados na pele, com fita dupla-face. Durante cada teste o Sr. será instruído a trajar roupas específicas para a prática do triatlo (shorts, calção de banho, camiseta).

Os testes serão os seguintes:

- Um teste máximo de ciclismo em que o Sr. terá que pedalar em intensidade máxima para medir a energia gasta no exercício (Teste de consumo máximo de oxigênio);

- Um teste máximo de corrida em esteira em que o senhor terá que correr em intensidade máxima para medir a energia gasta no exercício (Teste de consumo de oxigênio máximo);

- Um teste de corrida em esteira com velocidade constante de 13 ou 15 km/h durante 20 minutos para avaliar sua economia de movimento durante a corrida, o Sr. será filmado por câmeras especiais que só fazem o registro dos marcadores que estão na pele;

- Um teste de corrida em esteira com velocidade constante de 13 ou 15 km/h durante 20 minutos para avaliar sua economia de movimento durante a corrida, o Sr. será filmado por câmeras especiais que só fazem o registro dos marcadores que estão na pele, essa corrida será realizado após o Sr. pedalar em uma bicicleta fixa, durante 30 minutos.

Os riscos decorrentes de sua participação na pesquisa são dores musculares agudas, principalmente nos testes máximos. Todos os testes que levarão exaustão (testes máximos) serão acompanhados pelo médico responsável pelo laboratório de pesquisa do exercício da

UFRGS. Se você aceitar participar, estará contribuindo para o conhecimento dos mecanismos ligados a economia de corrida e a influência do ciclismo na biomecânica da corrida. Todo participante receberá um pequeno laudo com os dados de consumo máximo de oxigênio, tanto da corrida quanto do ciclismo.

Se depois de consentir em sua participação o Sr. desistir de continuar participando, tem o direito e a liberdade de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, seja antes ou depois da coleta dos dados, independente do motivo e sem nenhum prejuízo a sua pessoa.

O Sr. não terá nenhuma despesa e também não receberá nenhuma remuneração. Os resultados da pesquisa serão analisados e publicados, mas sua identidade não será divulgada, sendo guardada em sigilo. Para qualquer outra informação, o Sr. poderá entrar em contato com o pesquisador no endereço (Rua Felizardo, 750, Bairro Jardim Botânico), pelo telefone (51 33085820) ou Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS (51 3308-3738)

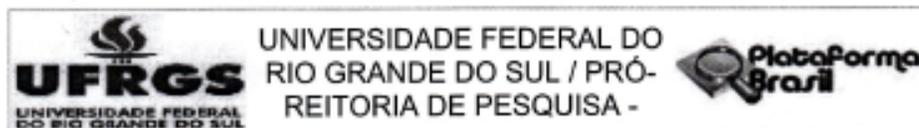
Consentimento Pós-Informação

Eu, _____, fui informado sobre o que o pesquisador quer fazer e porque precisa da minha colaboração, e entendi a explicação. Por isso, eu concordo em participar do projeto, sabendo que não vou ganhar nada e que posso sair quando quiser. Este documento é emitido em duas vias que serão ambas assinadas por mim e pelo pesquisador, ficando uma via com cada um de nós.

Pesquisador

responsável: _____.

ANEXO B: Carta de aprovação do comitê de ética



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: INFLUÊNCIA DO CICLISMO NA EFICIÊNCIA E ECONOMIA DE CORRIDA EM TRIATLETAS

Pesquisador: Leonardo Alexandre Peyré Tartaruga

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 23650013.6.0000.5347

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL/COMITÊ DE ÉTICA EM

Patrocinador Principal: Escola de Educação Física da Universidade do Rio Grande do Sul

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 579.277

Data da Relatoria: 03/04/2014

Apresentação do Projeto:

Trata-se de um projeto de mestrado, apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Movimento Humano da Escola de Educação Física da UFRGS, que retoma de segunda diligência para terceira avaliação.

Objetivo da Pesquisa:

Comparar o efeito agudo do ciclismo na corrida com a corrida isolada em triatletas de nível médio.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

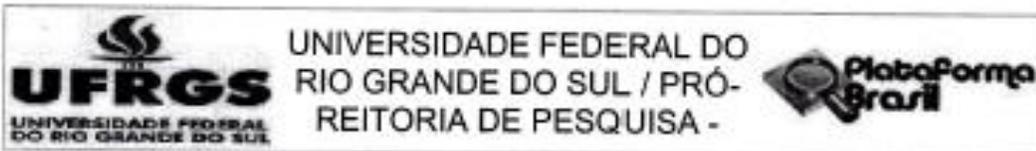
Riscos:

Os riscos decorrentes da participação na pesquisa são dores musculares agudas, principalmente nos testes máximos.

Benefícios:

Com a participação os sujeitos estarão contribuindo para o conhecimento dos mecanismos ligados a economia de corrida e a influência do ciclismo na biomecânica da corrida. Todo participante receberá um pequeno laudo com os dados de consumo máximo de oxigênio, tanto da corrida quanto do ciclismo.

Endereço: Av. Paulo Gama, 110 - Sala 317 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro
Bairro: Famosinha **CEP:** 90.040-000
UF: RS **Município:** PORTO ALEGRE
Telefone: (51)3308-3738 **Fax:** (51)3308-4085 **E-mail:** etica@propeq.ufrgs.br



Continuação do Parecer: 579.277

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Em diligência anterior, havia sido solicitado esclarecimentos a respeito do cronograma, que indicava que a pesquisa já havia sido iniciada. As solicitações foram atendidas.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Folha de rosto, ok

Formulário com informações básicas, ok

Projeto completo, ok

Parecer consubstanciado de instância anterior, ok

TCLE, Ok

Cronograma, ok

Recomendações:

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Atendidas as solicitações o projeto encontra-se em condições de ser aprovado.

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Considerações Finais a critério do CEP:

Aprovado.

PORTO ALEGRE, 03 de Abril de 2014


 Assinador por:
 José Artur Bogo Chies
 (Coordenador)

Endereço: Av. Paulo Gama, 110 - Sala 317 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro
 Bairro: Fancoipêta CEP: 91.040-060
 UF: RS Município: PORTO ALEGRE
 Telefone: (51)3308-3738 Fax: (51)3308-9065 E-mail: etica@propesq.ufrgs.br