

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO

**EFEITOS DA INCLINAÇÃO DO TERRENO E DA CARGA
SOBRE O TRABALHO MECÂNICO E O CUSTO DE TRANSPORTE
NA CAMINHADA HUMANA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

NATALIA ANDREA GOMEÑUKA

Porto Alegre, Agosto de 2011.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO

NATALIA ANDREA GOMEÑUKA

**EFEITOS DA INCLINAÇÃO DO TERRENO E DA CARGA
SOBRE O TRABALHO MECÂNICO E O CUSTO DE TRANSPORTE
NA CAMINHADA HUMANA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do grau acadêmico de Mestre em Ciências do Movimento Humano.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Alexandre Peyré Tartaruga

Porto Alegre, Agosto de 2011.

CATALOGAÇÃO NA FONTE

Gomeñuka, Natalia Andrea

Efeitos da inclinação do terreno e da carga sobre o trabalho mecânico e o custo de transporte na caminhada humana / Natalia Andrea Gomeñuka/ Porto Alegre: UFRGS, 2011.

173 f., Il., trab.

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, 2011.

1. Caminhada. 2. Inclinação. 3. Carga. 4. Custo de Transporte. 5. Recovery. Título. II. Peyré-Tartaruga, Leonardo Alexandre, orientador.

NATALIA ANDREA GOMEÑUKA

**EFEITOS DA INCLINAÇÃO DO TERRENO E DA CARGA
SOBRE O TRABALHO MECÂNICO E O CUSTO DE TRANSPORTE
NA CAMINHADA HUMANA**

Conceito Final: **A**

Aprovado em: 25 de Agosto de 2011

BANCA EXAMINADORA:

Prof^a. Dr^a. Flávia Gomes Martinez - UFRGS

Prof. Dr. Carlos Bolli Mota - UFRGS

Prof. Dr. Jerri Luiz Ribeiro - IPA

Porto Alegre, 2011.

DEDICATÓRIA

*Ao meu Esposo e Amigo Martín,
por estar presente em cada momento da minha vida,
por incentivar-me a superar os novos desafios,
acreditando em mim e, principalmente,
por Ser A Pessoa que Dá Sentido ao Meu Mundo.*

*Também o dedico
Aos meus Pais: Loly e Héctor,
pelo exemplo de dedicação e trabalho,
e por encorajar-me sempre a perseguir os meus sonhos.*

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação é a concretização de uma ideia que iniciou antes mesmo de ingressar no mestrado. Para que essa fosse realizada, precisei de ajuda de muitas pessoas. Agradeço:

A meu Orientador, Leonardo Alexandre Peyré Tartaruga, pela confiança e oportunidade, por me ensinar a dar os primeiros passos na pesquisa e conseguir que eu goste disto cada dia mais, por testar os meus limites e também pela compreensão e paciência nos momentos cruciais da minha vida.

A meu Esposo Martín, por ser a pessoa que completa a minha vida, há muito tempo, e, simplesmente, posso te agradecer por compartilhar a tua vida comigo, por fazer que eu acorde feliz todos os dias, pelos ensinamentos, pela tua bondade, pela nossa cumplicidade, pelo amor e amizade e, principalmente, por ser o meu suporte e a minha força nos momentos difíceis.

À minha mãe Loly, por estar em cada momento da minha vida, por ser exemplo de perseverança, amor e alegria, pela força e motivação que dá, apesar da dor que provoca a minha distância. A meu pai Hector, pela confiança desde sempre, pelos ensinamentos para a vida, pela forma alegre de viver, e por se orgulhar de nossas conquistas. A meu irmão Rafael, pelo apoio e fortaleza. A meu avô António, que foi o grande “*Maestro*” de nossas vidas, exemplo de honra, alegria e sabedoria, à minha avó Ana, pelo amor e pela sua história de vida, dedicada à família.

À família do Martín, aos meus sogros Silvia e Carlos, pela força, motivação e carinho que me proporcionam desde sempre, à “*Oma*” Ana e aos Tios Mucky e Cacho, pela presença e carinho, a meus cunhados Juan e Alfonsina, pela parceria.

Aos meus amigos e colegas da família Locomotion: Renata, Paulinha, Rodrigo, Gabriela, Jorginho, Henrique, Clarissa, Gus, Queiróz, Alberito, Remião, Zé, Alex, Patty Pantoja, Paty Polero, Paula Morena, Leticia e Marcus, e às demais pessoas fora do grupo que colaboraram nas extensas Coletas deste mestrado: Tiny Alberton (nossa professora do VO2000), Elys, Roberto F., Augusto, Ricardo, Luisa e Gui. A todos vocês Obrigadíssima pelas muitas horas que passamos dentro do Laboratório, sábados, domingos e demais dias de semana coletando, fazendo pesquisa com uma galera bem animada.

Às minhas amigas e colegas de mestrado: Renata L. Bona e Paulinha Figueiredo da Silva, por termos caminhado juntas na pesquisa, e, principalmente, por terem entrado na minha vida, pela Amizade Incondicional que cultivamos e por todos os momentos que compartilhamos nesses anos. As pessoas fazem a diferença e vocês marcaram a minha vida. Obrigada.

Ao meu Bolsista e Amigo Rodrigo Gomes Da Rosa, pela dedicação de paciência, pelos contínuos fins de semana de *Dvideowterapia*, pela vontade de aprender a fazer pesquisa, pelo conceito da vida, pela bondade e dedicação às coisas que você faz, por ser um de meus professores de português e, principalmente, pela Amizade ao longo deste caminhar juntos. Tomara que eu tenha conseguido te ensinar algumas coisas.

Aos que ajudaram na digitalização: Rodrigo, Jorginho, Augusto, Henrique, Martín, Roberto e Gabi.

À Luciana, Renata, Paulinha e Rodrigo, pelo tempo e paciência nas correções de português deste documento. Obrigada!!

À Família dos Argentinos em POA, "*Los Argentos*" por serem esses amigos de convívio, do Mate e dos Domingos amenos longe de nossas casas, pelos momentos compartilhados em nossas vidas no exterior, cada um de vocês ocupa um lugar no meu coração: a Lili, Carolita, Moni, Robert, Luis, Guille, José, Mario, Karina, Imanol, Vivi, Facu, Anselmo, Leo e Julián. "*Gracias por Estar*".

Aos meus Amigos de Sempre, de Posadas, que fazem parte importante da minha vida: Vanesa, Ale, Fabian, Marcela, Valeria, Lore, Malu, Marian P. e Facu, a Cherpy, Ushi, Eli e Roberto, enfim, ao meu afilhado Agustín e seus pais Andrea e José, pela força enviada desde Argentina. "*Gracias*".

Ao grupo de Biomecânica da 222. Ao Prof. Jefferson, ao Santo La Torre pelos meus primeiros passos no Matlab, e, ao Mestre dos Magos Artur, pela força e ajuda nos momentos chaves, além da amizade e parceria

Aos meus colegas de turma de mestrado, Carol, Gabi, Lemos, Matheus pela força tarefa em Instrumentos de Pesquisa da Biomecânica, e a Yumie, Lara, Débora, Fábio, Diana, Fran, Alexandre, Jean, Frederico, pelo mutirão de mecânica muscular sempre de bom humor e entendendo meu portunhol.

Aos participantes desta pesquisa, pela doação e empenho nos testes.

Ao Professor Jerri R. pelo tempo dedicado a discutirmos a melhor estatística para este trabalho; e a Stephanie Santana Pinto pelos ensinamentos estatísticos e por compartilhar comigo o seu conhecimento, foi significativamente divertido estudar contigo. Obrigada!

A todos os professores do programa de Pós Graduação em Ciências do Movimento Humano, em especial aos professores Marco Vaz, Flávio Castro e Jefferson Loss, pelo exemplo de dedicação aos alunos e à pesquisa.

Ao pessoal da secretaria do LAPEX, Daniela, Luciano, Vanessa, Luis, Rafael e Alex e pela paciência e ajuda nas incontáveis retiradas de material.

Ao pessoal da secretaria da pós André e Ana, pela assistência das mais diferentes formas, pela disposição e competência.

À CNPq pelo auxílio econômico da bolsa PEC-PG.

Aos professores da banca, pelas contribuições dadas para melhorar este documento.

A todas àquelas pessoas que de alguma ou outra forma colaboraram na concretização deste trabalho.

Ao Lylo, por fazer meu dia a dia mais feliz.

Enfim agradeço a Deus por iluminar meu caminho e por colocar tantas pessoas especiais na minha vida.

RESUMO

EFEITOS DA INCLINAÇÃO DO TERRENO E DA CARGA SOBRE O TRABALHO MECÂNICO E O CUSTO DE TRANSPORTE NA CAMINHADA HUMANA

Autora: Natalia Andrea Gomeñuka

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Alexandre Peyré-Tartaruga

O objetivo do presente estudo foi comparar o comportamento dos parâmetros mecânicos (W_{ext} , W_{int} , W_{tot} , CP, FP), parâmetros energéticos (P_{met} , C, Eff, $V_{ótima}$) e do mecanismo pendular (R, R_{int} , %Cong) durante a caminhada com carga no plano (0%), nas inclinações (+7% e +15%) e em distintas velocidades de caminhada. A amostra foi composta por 10 homens jovens, saudáveis, fisicamente ativos e não adaptados ao transporte de carga em mochilas. Os sujeitos caminharam em uma esteira rolante durante 5 min, em cinco diferentes velocidades, sem e com carga (25% da MC) transportada em mochilas, e em três planos distintos de caminhada (0%, 7% e 15%). A análise de movimento 3D (quatro câmeras de vídeo) foi realizada simultaneamente à análise de VO_2 . Realizaram-se rotinas computacionais para o processamento de dados cinemáticos em *Matlab*®. Utilizou-se ANOVA de 3 fatores para medidas repetidas, com *post hoc* de Bonferroni ($p < 0,05$; SPSS 17.0). Os resultados dos parâmetros mecânicos indicam modificações devido à velocidade e ao plano de caminhada; a carga não modificou algumas das variáveis. Todas as variáveis mecânicas aumentaram com o incremento da velocidade, o W_{int} e a FP diminuíram a 7% e logo aumentaram a 15%, o W_{ext} e W_{tot} aumentaram com a inclinação, e o CP diminuiu com o aumento da inclinação. A carga não afetou na maioria das situações o W_{ext} e o W_{tot} , demonstrando que os parâmetros mecânicos são de modo geral, independentes da carga tanto no plano como nas inclinações. As variáveis energéticas da caminhada foram influenciadas pela velocidade, inclinação e a carga. A P_{met} aumentou com o incremento da velocidade, da inclinação e da carga. O C diminuiu com o incremento da velocidade e logo aumentou, atingindo um mínimo nas velocidades intermediárias e, também aumentou com o incremento da inclinação e da carga. A Eff aumentou com a velocidade, diminuiu com o aumento da inclinação e a carga. A $V_{ótima}$ de caminhada foi reduzida com o incremento da inclinação. Constatou-se que o mecanismo pendular é modificado principalmente como decorrência da velocidade e da inclinação do terreno, e é independente da carga. O R e o R_{int} aumentam com o acréscimo da velocidade de caminhada, logo diminuem com o incremento da inclinação e ambos são independentes da carga. Conclui-se que as diferentes restrições impostas através da variação da carga e inclinações provocaram adaptações na mecânica e energética da locomoção humana, sustentando a $V_{ótima}$ e a reconversão das energias mecânicas (R) nas inclinações. Deste modo, ainda que em menor proporção, a estratégia de minimização de energia por via pendular ainda persiste nestas condições.

Palavras chaves: caminhada, inclinação, carga, trabalho mecânico, custo de transporte, *recovery*, velocidade ótima.

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

Autora: Natalia Andrea Gomeñuka

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Alexandre Peyré-Tartaruga

Título:

Porto Alegre, 2011

ABSTRACT

EFFECTS OF GRADIENT AND LOAD ON THE MECHANICAL WORK AND THE COST OF TRANSPORT IN HUMAN WALKING

Author: Natalia Andrea Gomeñuka

Advisor: Leonardo Alexandre Peyré-Tartaruga, Ph.D.

The purpose of the present study was to compare the behavior of the mechanical parameters (W_{ext} , W_{int} , W_{tot} , SF , SL), the energetic parameters (*Metabolic Power*, C , Eff , *optimal speed*) and the pendular mechanism (R , R_{int} , $\%congruity$) during walking with load on level (0%) and gradients (7% and 15%) and at different walking speeds. Ten young men, healthy, physically active and not adapted to walking loaded in backpacks participated in the study. The subjects walked in a treadmill for five minutes, under five different speeds, without and with load (25% of b_M) carried in backpacks and in three different gradients of walking (0%, 7% e 15%). The analysis of the 3D movement was registered (four video cameras), as well as the VO_2 analysis. Computational routines for the processing of kinematic data were done in *Matlab*®. The results were analyzed using repeated measures ANOVA (factors: speed, gradients, load) with the Bonferroni correction for post-hoc comparisons ($p < 0.05$) (SPSS 17.0). The results of the mechanical parameters indicate modifications due to speed and gradients of the walking; the load did not modify some of the variables. All of the mechanical variables increased with the raise in speed, the W_{int} and the SF decreased at 7% and right away increased at 15%, the W_{ext} and W_{tot} increased with the gradient, and the SL decreased with the raising gradient. The load did not affect most of the situations, the W_{ext} and W_{tot} , decreasing with the loaded situation, showing that the mechanical parameters are, in general, independent of the load on level and gradients. The energetic parameters of the walking were influenced by the speed, the gradient and the load. The *metabolic power* increased with the raise in speed, in gradient and in load. The *cost of transport* decreased with raise in speed and increased right away, influencing the minimum cost at intermediate speeds and it also increased with the raise of the slope and the load. The *efficiency* increased with speed and decreased with the raise of gradient and load. The *optimal speed* of walking was reduced with increasing of gradient. It was verified that the pendular mechanism is mainly modified as a consequence of speed and the gradient, and is independent of load. The R and R_{int} increase with the raise of speed, and decrease with the raise of gradient, also there are independent of the load. The conclusion is that the different restrictions imposed through the load variation and gradients cause adaptations in the mechanics and energetic of the human locomotion, sustaining the *optimal speed* and reconversion of the mechanical energies in gradients. In this way, but in a smaller proportion, the strategy of minimizing the energy through the pendular mechanism still persists in these conditions.

Keywords: walking, gradient, load, mechanical work, cost of transport, recovery, optimal speed.

FEDERAL UNIVERSITY OF RIO GRANDE DO SUL
POS GRADUATION PROGRAM ON HUMAN EXERCISES MOVEMENT
SCIENCES

Author: Natalia Andrea Gomeñuka

Advisor: Leonardo Alexandre Peyré-Tartaruga, Ph.D.

Title: Effects of gradient and load on the mechanical work and the cost of transport in
human walking

Porto Alegre, 2011

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	17
LISTA DE TABELAS	22
LISTA DE EQUAÇÕES	24
DEFINIÇÃO DE TERMOS.....	25
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	26
1. INTRODUÇÃO	29
1.1. Formato da Dissertação	32
1.2. O problema e sua importância	33
1.3. Hipóteses	33
1.4. Objetivos	34
1.4.1. Objetivo Geral	34
1.4.2. Objetivos Específicos	34
2. REFERENCIAL TEÓRICO	36
2.1. Mecânica e energética da caminhada humana.....	36
2.2. Caminhada humana na inclinação	41
2.3. Caminhada humana com carga	46
3. MATERIAIS E METODOS.....	55
3.1. Definição das Variáveis.....	55
3.1.1. Variáveis Dependentes	55
- Trabalho Mecânico Externo - W_{ext}	55
- Trabalho Mecânico Interno – W_{int}	55
- Trabalho Mecânico Total – W_{tot}	55
- Comprimento da Passada – CP	55
- Frequência da Passada – FP.....	55
- <i>Recovery</i> - R	55
- Transdução Pendular durante o passo- R_{int}	56

- Percentual de Congruência - % <i>Cong</i>	56
- Custo de Transporte - C.....	56
- Eficiência de Locomoção – Eff	56
- Velocidade ótima de locomoção - $V_{ótima}$	56
3.1.2. Variáveis Independentes	56
- Carga	56
- Planos	57
- Velocidades.....	57
3.1.3. Variáveis Intervenientes	58
3.2. Delineamento da Pesquisa.....	58
3.3. Amostra	58
3.3.1. Cálculo do Tamanho da Amostra	58
3.3.2. Critérios de Inclusão.....	59
3.3.3. Critérios de Exclusão.....	59
3.3.4. Procedimentos para seleção da amostra	60
3.3.5. Considerações Éticas.....	60
3.4. Instrumentos de Pesquisa	60
3.4.1. Fichas de dados	60
3.4.2. Balança eletrônica.....	61
3.4.3. Estadiômetro	61
3.4.4. Esteira rolante	61
3.4.5. Cronômetros.....	62
3.4.6. Variáveis cardiorrespiratórias	62
3.4.6.1. Analisador de gases portátil	62
3.4.6.2. Máscara.....	63
3.4.6.3. Sensor de batimentos cardíacos	63
3.4.6.4. Microcomputador para transmissão de dados do VO_2	63

3.4.7. Variáveis Cinemáticas	63
3.4.7.1. Sistema de medição e análise dos movimentos.....	63
3.4.7.2. Calibrador	66
3.4.7.3. Marcadores Reflexivos	66
3.4.7.4. Mochila	67
3.5. Procedimentos para Aquisição de Dados.....	67
3.5.1. Calibração do analisador de gases	67
3.5.2. Protocolo para caracterização da amostra	68
3.5.3. Familiarização	69
3.5.4. Protocolo do Teste de Caminhada	69
3.5.5. Softwares Utilizados	70
3.5.6. Desenho Experimental	70
3.6. Tratamento dos Dados	72
3.6.1. Análise dos parâmetros metabólicos.....	72
3.6.2. Parâmetros Cinemáticos	72
3.6.3. Análise do Trabalho Mecânico	73
3.6.4. Análise do Comprimento da Passada	76
3.6.5. Análise da Frequência da Passada.....	76
3.6.6. Análise do Custo de Transporte	76
3.6.7. Análise do Recovery.....	77
3.6.8. Análise da Transdução Pendular – R_{int}	77
3.6.9. Análise da Eficiência	77
3.6.10. Análise do Percentual de Congruência	78
3.6.11. Análise da Velocidade Ótima	78
3.7. Tratamento Estatístico.....	79
4. RESULTADOS	80
4.1. Mecânica da Caminhada.....	80

Comportamento do trabalho mecânico externo - W_{ext}	80
Comportamento do trabalho mecânico interno - W_{int}	82
Comportamento do trabalho mecânico total - W_{tot}	85
Comportamento do Comprimento de Passada – CP	88
Comportamento da Frequência da Passada - FP	91
4.2. Energética da Caminhada	94
Comportamento da Potência Metabólica – P_{met}	94
Comportamento do Custo de Transporte – C.....	98
Comportamento da Eficiência - Eff.....	103
Comportamento da Velocidade Ótima - $V_{ótima}$	105
4.3. Mecanismo Pendular.....	107
Comportamento do Recovery - R.....	107
Comportamento da Transdução Pendular Instantânea - R_{int}	110
Comportamento do Percentual de Congruência - %Cong	113
5. DISCUSSÃO	119
5.1. Aspectos mecânicos da locomoção com carga e inclinação.....	119
5.2. Aspectos energéticos da locomoção com carga e inclinação	123
5.3. O mecanismo pendular existe nas inclinações.....	129
5.4. Respondendo as hipóteses	133
6. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	136
6.1. Conclusões.....	136
6.2. Considerações Finais	137
7. REFERÊNCIAS	138
8. ANEXOS	146
ANEXO A: CARTA DE APROVAÇÃO DO COMITÉ DE ÉTICA	146
ANEXO B: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	147
ANEXO C: QUESTIONÁRIO INTERNACIONAL DE ATIVIDADE FÍSICA - IPAQ...	149

ANEXO D: FICHA DE DADOS PESSOAIS.....	153
ANEXO E: FICHA DE CONTROLE DOS TESTES	154
ANEXO F: FICHA DE ARQUIVOS DVIDEOW	155
ANEXO G: FICHA DE ARQUIVOS DO VO2000	156
ANEXO H: FICHA DE CONTROLE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA.....	158
9. APÊNDICES.....	159
APÊNDICE A: ROTINA PARA PROCESAMENTO DE DADOS CINEMÁTICOS EM MATLAB	159
APÊNDICE B: CÁLCULO DO ERRO DA VELOCIDADE DA ESTEIRA	168
APÊNDICE C: CÁLCULO DA ACURÁCIA DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO 3D.....	171
9.1. TRABALHOS PUBLICADOS OU SUBEMTIDOS.....	173

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Comportamento das energias na caminhada. Adaptado de Saibene e Minetti (2003b).....	37
Figura 2.	Medidas Experimentais de Trabalho Mecânico em Locomoção. Adaptado de Saibene e Minetti (2003b).....	39
Figura 3.	Contribuição de trabalho positivo (W_+) e trabalho negativo (W_-) durante a caminhada em inclinações de $\pm 15\%$. Adaptado de Minetti, Ardigò <i>et al.</i> , (1993).....	44
Figura 4.	(a) Velocidade ótima de caminhada no plano; (b) A velocidade ótima de caminhada no plano com cargas de 0% até 75% do peso corporal. Adaptado de Bastien, Schepens <i>et al.</i> , (2005).....	50
Figura 5.	Analizador de gases portátil tipo caixa de mistura, modelo VO2000 (MEDGRAPHICS).....	62
Figura 6.	Câmera de vídeo digital JVC GR-DVL 9800.....	64
Figura 7.	Posicionamento das câmeras e do VO2000 no local de coleta....	64
Figura 8.	Exemplo da aquisição das imagens das quatro câmeras posicionadas no local da coleta.....	65
Figura 9.	Calibrador tridimensional da marca <i>Peak Performance</i>	66
Figura 10.	Representação do posicionamento dos marcadores reflexivos sobre os pontos anatômicos de interesse.....	67
Figura 11.	(A) Comportamento do W_{ext} durante a situação do plano (0%) CC e SC, (B) W_{ext} a 7% de inclinação CC e SC, (C) W_{ext} nos 15% de inclinação CC e SC.....	81
Figura 12.	(A) Comportamento do W_{ext} CC nas diferentes velocidades de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%), (B) Comportamento do W_{ext} SC nas diferentes velocidades de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%).	82
Figura 13.	(A) Comportamento do W_{int} CC nas diferentes velocidades de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada, (B) Comportamento do W_{int} SC nas diferentes velocidades (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada.....	83

Figura 14.	(A) Comportamento do Wint nos diferentes planos, durante a situação CC e nas diferentes velocidades de caminhada. (B) Comportamento do Wint nos diferentes planos, durante a situação SC e nas diferentes velocidades de caminhada.....	84
Figura 15.	(A) Comportamento do Wint durante a situação do plano (0%) CC e SC, (B) Wint a 7% de inclinação CC e SC, (C) Wint nos 15% de inclinação CC e SC.....	85
Figura 16.	(A) Comportamento do W_{tot} CC nas diferentes velocidades (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada, (B) Comportamento do W_{ext} SC nas diferentes velocidades (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada.....	87
Figura 17.	(A) Comportamento do W_{tot} durante a situação do plano (0%) CC e SC, (B) W_{tot} a 7% de inclinação CC e SC, (C) W_{tot} nos 15% de inclinação CC e SC.....	88
Figura 18.	(A) Comportamento do CP na situação CC nas diferentes velocidades (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada, (B) Comportamento do CP na situação SC nas diferentes velocidades (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada.....	90
Figura 19.	(A) Comportamento do CP nos diferentes planos, durante a situação CC e nas diferentes velocidades de caminhada. (B) Comportamento do CP nos diferentes planos, durante a situação SC e nas diferentes velocidades de caminhada.....	90
Figura 20.	(A) Comportamento do CP durante a situação do plano (0%) CC e SC, (B) CP durante os 7% de inclinação CC e SC, (C) CP durante os 15% de inclinação CC e SC.....	91
Figura 21.	(A) Comportamento da FP na situação CC nas diferentes velocidades (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada, (B) Comportamento da FP na situação SC nas diferentes velocidades (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada.....	92
Figura 22.	(A) Comportamento da FP nos diferentes planos, durante a situação CC e nas diferentes velocidades de caminhada. (B) Comportamento da FP nos diferentes planos, durante a situação SC e nas diferentes velocidades de caminhada.....	93

Figura 23.	(A) Comportamento da FP durante a situação do plano (0%) CC e SC, (B) FP durante os 7% de inclinação CC e SC, (C) FP durante os 15% de inclinação CC e SC.....	94
Figura 24.	A) Comportamento da P_{met} nas diferentes velocidades de caminhada CC (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%), (B) Comportamento da P_{met} nas diferentes velocidades SC (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada.....	95
Figura 25.	(A) Comportamento da P_{met} nos diferentes planos, durante a situação CC e nas diferentes velocidades de caminhada. (B) Comportamento da P_{met} nos diferentes planos, durante a situação SC e nas diferentes velocidades de caminhada.....	96
Figura 26.	(A) Comportamento da P_{met} durante a situação do plano (0%) CC e SC. (B) P_{met} durante os 7% de inclinação CC e SC. (C) P_{met} durante os 15% de inclinação CC e SC.....	97
Figura 27.	Comparação da P_{met} corporal (gráficos do lado esquerdo) e P_{met} total (gráficos do lado direito).....	98
Figura 28.	(A) Comportamento do C nas diferentes velocidades de caminhada CC (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%), (B) Comportamento do C nas diferentes velocidades SC (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada.....	100
Figura 29.	(A) Comportamento do C durante a situação do plano (0%) CC e SC. (B) Comportamento do C nos 7% de inclinação CC e SC. (C) Comportamento do C nos 15% de inclinação CC e SC.....	101
Figura 30.	Figura 30. Comparação Dados Custo de Transporte do Presente Estudo com Dados da Literatura (ARDIGÒ, SAIBENE <i>et al.</i> , 2002).....	102
Figura 31.	(A) Comportamento da Eff nas diferentes velocidades CC (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada, (B) Comportamento da Eff nas diferentes velocidades SC (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada.....	104
Figura 32.	(A) Comportamento da Eff nos diferentes planos, durante a situação CC e nas diferentes velocidades de caminhada. (B) Comportamento da Eff nos diferentes planos, durante a situação SC e nas diferentes velocidades de caminhada.....	104

Figura 33.	(A) Comportamento da Eff durante a situação do plano (0%) CC e SC. (B) Comportamento da Eff nos 7% de inclinação CC e SC. (C) Comportamento da Eff nos 15% de inclinação CC e SC.....	105
Figura 34.	(A) Comportamento da $V_{ótima}$ na situação CC e SC durante a caminhada no plano. (B) Comportamento da $V_{ótima}$ na situação CC e SC durante a caminhada nas inclinações de 7% e 15%.....	107
Figura 35.	(A) Comportamento do R nas diferentes velocidades CC (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada, (B) Comportamento do R nas diferentes velocidades SC (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada.....	109
Figura 36.	(A) Comportamento do R nos diferentes planos, durante a situação CC e nas diferentes velocidades de caminhada. (B) Comportamento do R nos diferentes planos, durante a situação SC e nas diferentes velocidades de caminhada.....	109
Figura 37.	(A) Comportamento do R durante a situação do plano (0%) CC e SC. (B) Comportamento do R nos 7% de inclinação CC e SC. (C) Comportamento do R nos 15% de inclinação CC e SC.....	110
Figura 38.	(A) Comportamento do R_{int} nas diferentes velocidades CC (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada, (B) Comportamento do R_{int} nas diferentes velocidades SC (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada.....	111
Figura 39.	(A) Comportamento do R_{int} nos diferentes planos, durante a situação CC e nas diferentes velocidades de caminhada. (B) Comportamento do R_{int} nos diferentes planos, durante a situação SC e nas diferentes velocidades de caminhada.....	112
Figura 40.	(A) Comportamento do R_{int} durante a situação do plano (0%) CC e SC. (B) Comportamento do R nos 7% de inclinação CC e SC. (C) Comportamento do R_{int} nos 15% de inclinação CC e SC.....	113
Figura 41.	(A) Comportamento do %Cong nas diferentes velocidades CC (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada, (B) %Cong nas diferentes velocidades SC (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada.....	114

Figura 42.	(A) Comportamento do % <i>Cong</i> nos diferentes planos, durante a situação CC e nas diferentes velocidades de caminhada. (B) Comportamento do % <i>Cong</i> nos diferentes planos, durante a situação SC e nas diferentes velocidades de caminhada.....	115
Figura 43.	(A) Comportamento do % <i>Cong</i> durante a situação do plano (0%) CC e SC. (B) Comportamento do % <i>Cong</i> nos 7% de inclinação CC e SC. (C) Comportamento do % <i>Cong</i> nos 15% de inclinação CC e SC.....	116
Figura 44.	Comportamento do % <i>Cong</i> e do R, nas diferentes velocidades de caminhada CC e SC.....	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Características da amostra apresentadas através da média e desvio-padrão.....	59
Tabela 2.	Desenho experimental.....	71
Tabela 3.	Análise da variância dos efeitos principais do fator Planos, Cargas e Velocidades, e da Interação Planos*Cargas, Planos*Velocidades, Cargas*Velocidades e Planos*Cargas*Velocidades no W_{ext} . Média e erros padrão W_{ext} nas diferentes situações.....	80
Tabela 4.	Análise da variância dos efeitos principais do fator Planos, Cargas e Velocidades, e da Interação Planos*Cargas, Planos*Velocidades, Cargas*Velocidades e Planos*Cargas*Velocidades no W_{int} . Média e erros padrão W_{int} nas diferentes situações.....	83
Tabela 5.	Análise da variância dos efeitos principais do fator Planos, Cargas e Velocidades, e da Interação Planos*Cargas, Planos*Velocidades, Cargas*Velocidades e Planos*Cargas*Velocidades no W_{tot} . Média e erros padrão W_{tot} nas diferentes situações.	86
Tabela 6.	Análise da variância dos efeitos principais do fator Planos, Cargas e Velocidades, e da Interação Planos*Cargas, Planos*Velocidades, Cargas*Velocidades e Planos*Cargas*Velocidades no CP.....	89
Tabela 7.	Análise da variância dos efeitos principais do fator Planos, Cargas e Velocidades, e da Interação Planos*Cargas, Planos*Velocidades, Cargas*Velocidades e Planos*Cargas*Velocidades na FP. Média e erros padrão da FP nas diferentes situações.....	92
Tabela 8.	Análise da variância dos efeitos principais do fator Planos, Cargas e Velocidades, e da Interação Planos*Cargas, Planos*Velocidades, Cargas*Velocidades e Planos*Cargas*Velocidades para a P_{met} . Média e erros padrão da P_{met} nas diferentes situações.....	95
Tabela 9.	Análise da variância dos efeitos principais do fator Planos, Cargas e Velocidades, e da Interação Planos*Cargas, Planos*Velocidades, Cargas*Velocidades e Planos*Cargas*Velocidades para o C. Média e erros padrão do C nas diferentes situações.....	99

Tabela 10.	Análise da variância dos efeitos principais do fator Planos, Cargas e Velocidades, e da Interação Planos*Cargas, Planos*Velocidades, Cargas*Velocidades e Planos*Cargas*Velocidades para a Eff. Média e erros padrão da Eff nas diferentes situações.....	103
Tabela 11.	Análise da variância dos efeitos principais do fator Planos e Cargas e da Interação Planos*Cargas para a $V_{ótima}$. Média e erros padrão da $V_{ótima}$ nas diferentes situações. Letras diferentes representam diferenças significativas.....	106
Tabela 12.	Teste T pareado comparando o fator carga, CC = com carga, SC = sem carga. Nas diferentes situações dos planos de caminhada (0%, 7% e 15%). Média e DP da $V_{ótima}$ com e sem carga. * representa que houve diferença significativa.....	106
Tabela 13.	Análise da variância dos efeitos principais do fator Planos, Cargas e Velocidades, e da Interação Planos*Cargas, Planos*Velocidades, Cargas*Velocidades e Planos*Cargas*Velocidades para o R. Média e erros padrão do R nas diferentes situações.....	108
Tabela 14.	Análise da variância dos efeitos principais do fator Planos, Cargas e Velocidades, e da Interação Planos*Cargas, Planos*Velocidades, Cargas*Velocidades e Planos*Cargas*Velocidades para o R_{int} . Média e erros padrão do R_{int} nas diferentes situações.....	111
Tabela 15.	Análise da variância dos efeitos principais do fator Planos, Cargas e Velocidades, e da Interação Planos*Cargas, Planos*Velocidades, Cargas*Velocidades e Planos*Cargas*Velocidades para o %Cong. Média e erros padrão do %Cong nas diferentes situações.....	114
Tabela 16.	Resumo do comportamento geral para todas as variáveis avaliadas nas diferentes situações.....	118

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.	Cálculo da energia potencial do CM.....	74
Equação 2.	Cálculo da energia cinética do CM.....	74
Equação 3.	Cálculo da energia cinética total do CM.....	74
Equação 4.	Cálculo da energia mecânica total do CM.....	75
Equação 5.	Cálculo do trabalho mecânico externo.....	75
Equação 6.	Cálculo do trabalho mecânico interno.....	75
Equação 7.	Cálculo do trabalho mecânico total.....	75
Equação 8.	Determinação do comprimento da passada.....	76
Equação 9.	Determinação da frequência da passada.....	76
Equação 10.	Cálculo da potência metabólica.....	76
Equação 11.	Cálculo do custo de transporte.....	76
Equação 12.	Cálculo do <i>Recovery</i>	77
Equação 13.	Cálculo da transdução pendular instantânea.....	77
Equação 14.	Cálculo da eficiência de locomoção.....	78
Equação 15.	Cálculo do percentual de congruência.....	78
Equação 16.	Determinação da velocidade ótima de caminhada.....	78

DEFINIÇÃO DE TERMOS

- **Comprimento da Passada - CP:** é a distancia percorrida ao realizar uma passada. A unidade é em metros;
- **Custo de transporte - C:** o dispêndio de oxigênio advindo dos músculos em função da distância percorrida normalizado pela massa corporal. A unidade é em $J.kg^{-1}.m^{-1}$;
- **Eficiência de locomoção - Eff:** a potência mecânica gerada dividida pela potência metabólica despendida durante uma passada;
- **Frequência da Passada - FP:** é o número de passadas realizadas por segundos. A unidade é em Hz;
- **Passada:** um período que compreende desde o momento do contato do calcanhar de um pé com o solo e finaliza no subseqüente momento de contato do mesmo pé;
- **Passo:** um período que compreende desde o momento do contato do calcanhar de um pé com o solo e finaliza no subseqüente momento de contato do pé contralateral;
- **Percentual de Congruência - %Cong:** é entendido como o somatório das porções do ciclo durante o qual a energia potencial e a energia cinética mudam no mesmo sentido;
- **Recovery - R:** percentual de transferência entre energia cinética e potencial gravitacional durante um ciclo de passada;
- **Trabalho mecânico externo - W_{ext} :** O trabalho realizado para elevar e acelerar o CM em relação ao ambiente externo;
- **Trabalho mecânico interno - W_{int} :** O trabalho realizado para acelerar os segmentos em relação ao CM;
- **Trabalho mecânico total - W_{tot} :** O somatório dos módulos do trabalho mecânico externo e interno. No presente estudo, o trabalho interno foi considerado aceitando transferência de energia mecânica entre segmentos de mesmos membros;
- **Transdução Pendular durante o passo - R_{int} :** é entendido como a integral da transdução pendular acumulada entre a energia cinética e a energia potencial durante um passo;
- **Velocidade ótima - $V_{ótima}$:** é considerada como a velocidade de caminhada na qual acontece o menor dispêndio energético da locomoção.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

3D	Três dimensões
C	Custo de transporte
CM	Centro de massa corporal
Cm	Centímetro
CP	Comprimento da passada
C_{path}	Custo de transporte do caminho
C_{vert}	Custo de transporte por metro vertical percorrido
CC	Caminhada com carga
SC	Caminhas sem carga
E_{cm}	Energia do CM
E_{tot}	Energia mecânica total do CM
Eff	Eficiência mecânica
EK	Energia cinética
EK_f	Energia cinética horizontal
EK_l	Energia cinética lateral
EK_v	Energia cinética vertical
E_{mec}	Energia mecânica
EST	Estatuta
EP	Energia potencial gravitacional do CM
FC	Frequência cardíaca
FC_ESF	Frequência cardíaca de esforço
FC_REP	Frequência cardíaca de repouso
FP	Frequência de passada
FRS	Força de reação do solo
G	Aceleração gravitacional
H	Altura do CM
Kg	Quilograma
Ki	Raio de giração do segmento i (em metros)
Km	Quilômetro
km.h^{-1}	Quilômetros por hora
L	Litros
$\text{J.kg}^{-1}.\text{m}^{-1}$	Joules por quilograma por metro

LAPEX	Laboratório de Pesquisa do Exercício
MC	Massa corporal
M	Massa segmentar
M	Metro
Min	Minuto
ml	Mililitros
mm	Milímetros
m.s ⁻¹	Metros por segundos
m _{tot}	Massa total
n	Tamanho da amostra
nro	Número
O ₂	Oxigênio
p	Índice de significância
P _{met}	Potência Metabólica
P _{met corp}	Potência Metabólica corporal
P _{met total}	Potência Metabólica total
PMV	Potência mecânica vertical
QR	Quociente Respiratório
R	<i>Recovery</i> , percentual de reconversão entre energia cinética e potencial gravitacional.
R _{int}	Transdução acumulada entre energia cinética e potencial gravitacional durante um passo.
s	Segundos
SPSS	Statistical Package for Social Sciences
S _v	Deslocamento Vertical do CM durante um passo
t	Tempo
T	Período
T	Teste T pareado
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
VAS	Velocidade auto selecionada
VCO ₂	Produção de dióxido de carbono
VE	Volume expiratório
VO ₂	Consumo de oxigênio

V_f	Velocidade horizontal do CM
v	Velocidade horizontal
V_i	Velocidade relativa do segmento i
$V_{\text{ótima}}$	Velocidade ótima de caminhada
V_v	Velocidade vertical do CM
W_{ext}	Trabalho mecânico externo
$W_{\text{ext},f}$	Trabalho mecânico externo horizontal
$W_{\text{ext},l}$	Trabalho mecânico externo lateral
$W_{\text{ext},f,+}$	Trabalho mecânico externo horizontal positivo
$W_{\text{ext},v}$	Trabalho mecânico externo vertical
W_{int}	Trabalho mecânico interno
W_{tot}	Trabalho mecânico total
W_{mec}^+	Trabalho mecânico positivo
W_{mec}^-	Trabalho mecânico negativo
\dot{W}	Potência mecânica total
%Cong	Percentual de congruência
Δh	Varição da altura do CM
Δt	Varição do tempo
ΔHor	Varição horizontal da esteira no eixo x
ΔVert	Varição vertical da esteira no eixo y
ω_i	Velocidade angular do segmento i (em radianos por segundo).
+1 AVAS	+1 km.h ⁻¹ acima da velocidade auto selecionada.
+2 AVAS	+2 km.h ⁻¹ acima da velocidade auto selecionada.
-1 AVAS	-1 km.h ⁻¹ abaixo da velocidade auto selecionada.
-2 AVAS	-2 km.h ⁻¹ abaixo da velocidade auto selecionada.

1. INTRODUÇÃO

A caminhada é o padrão de locomoção mais comum e conhecido de todos os movimentos humanos, apesar disso, apresenta uma alta complexidade, e é caracterizada por possuir vários mecanismos biomecânicos e de controle motor para gerar e controlar este padrão de movimento (PINEIREIRO, 2006).

Dentre as características mais importantes da locomoção humana, destaca-se a necessidade dos membros inferiores de encostar repetidamente no solo para absorver e transferir energia (trabalho negativo e positivo, respectivamente) com o meio ambiente, caracterizando situações de grandes acelerações. Assim, para manter a velocidade média da locomoção humana, torna-se necessário uma "re" aceleração do centro de massa (CM). Apesar disso, sabe-se que durante a caminhada humana o sistema locomotor reduz o dispêndio energético requerido pelos músculos utilizando o mecanismo do pêndulo invertido. Neste mecanismo, a energia potencial (EP) e cinética (EK) do centro de massa corporal (CM) estão opostas, quando uma aumenta a outra diminui gradativamente, realizando o processo de reconversão de energia denominado *Recovery* (CAVAGNA *et al.*, 1976; CAVAGNA e KANEKO, 1977).

A locomoção humana, como qualquer outra atividade, provoca dispêndio energético devido à necessidade de manter a velocidade média de progressão do CM. O dispêndio energético líquido necessário para locomover o sujeito em uma determinada distância ou custo de transporte (C) é determinado por tarefas mecânicas tais como: gerar força para suportar o peso do corpo; executar o trabalho para redirecionar e acelerar o CM a cada passo; promover o balanço dos membros e manter a estabilidade dinâmica (GRABOWSKI *et al.*, 2006).

O C da caminhada é de principal importância na compreensão da mecânica e energética da locomoção humana, o mesmo é alterado devido às diferentes situações impostas ao aparelho locomotor (ALEXANDER, 2002). Igualmente, os estudos estabeleceram que o C da caminhada é mínimo aproximadamente a 4,5 km.h⁻¹, denominando esta velocidade de progressão como velocidade ótima de caminhada ($V_{ótima}$) a qual coincide com o máximo de reconversão de energia por via pendular (SAIBENE e MINETTI, 2003; BASTIEN, WILLEMS *et al.*, 2005).

A maioria dos estudos que avaliam a mecânica e energética da caminhada utilizam a técnica de mensuração dos trabalhos mecânicos, externo (W_{ext}), interno

(W_{int}) e total (W_{tot}) com registros simultâneos dos dados de consumo de oxigênio (VO_2) por calorimetria indireta (CAVAGNA; SAIBENE *et al.*, 1963; SAIBENE; MINETTI, 2003, MIAN *et al.*, 2006). Esse método foi utilizado neste estudo, obtido através da utilização de dados cinemáticos e da análise do VO_2 , para avaliar e quantificar a adaptação na mecânica e a energética da locomoção em inclinações e com carga (WILLEMS *et al.*, 1995).

Em relação à locomoção com restrições do ambiente, alguns autores avaliaram as respostas adaptativas no mecanismo do pêndulo invertido e no C da caminhada realizadas como consequências da inclinação do terreno e/ou do transporte de carga (MINETTI, ARDIGÒ *et al.*, 1993; BASTIEN, WILLEMS *et al.*, 2005).

Especificamente nas inclinações, foi estudado o comportamento do trabalho mecânico (W_{mec}) durante a caminhada (MINETTI, ARDIGÒ *et al.*, 1993), e na corrida (MINETTI, ARDIGÒ *et al.*, 1994), determinando-se que o modelo do pêndulo invertido não se sustenta em situações de inclinações extremas ($\pm 15\%$ na caminhada e $\pm 30\%$ na corrida), devido ao comportamento monotônico das energias mecânicas do CM nas inclinações citadas. Deste modo, é desconhecido se há alguma estratégia de minimização de energia durante a caminhada nestas circunstâncias.

Posteriormente, outros autores determinaram que os padrões de oscilação da EP do CM são assimétricos durante cada período de apoio simples para ambas as condições de caminhada (subida e descida), e observaram também que a EP do CM predominantemente diminuía durante a caminhada em descida e aumentava na subida. Portanto, os autores concluíram em relação ao ângulo de inclinação do terreno, que o intercâmbio da E_{cm} era mais efetivo durante as descidas em inclinações moderadas e menos efetivo durante caminhadas em subida (GOTTSCHALL e KRAM, 2005).

Não obstante, ainda falta compreender se esse fator de oscilação do CM é incrementado em maiores inclinações ($+15\%$), e como isto repercutirá na $V_{ótima}$ de caminhada. Igualmente, e entre outros fatores que podem alterar a locomoção, destaca-se também a importância da caminhada carregando cargas em muitas tarefas ocupacionais e atividades de vida diária (KINOSHITA, 1985).

Durante o carregamento de cargas, o equilíbrio dinâmico pode ser alterado devido a uma assimetria postural imposta pelo diferente arranjo das estruturas

corporais que ocorrem para acomodar a carga, como por exemplo, os desvios laterais do tronco (FOWLER, RODACKI *et al.*, 2006) e do CM durante o transporte de cargas assimétricas (KINOSHITA, 1985; WU e MACLEOD, 2001) e simétricas (DEVITA, HONG *et al.*, 1991). Desta forma a necessidade de reestruturação do equilíbrio pode levar a outras alterações no padrão dinâmico da caminhada.

Igualmente, é bem descrito na literatura que existe uma velocidade específica que minimiza o C da caminhada no plano por unidade de distância percorrida, denominada $V_{\text{ótima}}$ de caminhada, e que a mesma é independente da carga (FALOLA, DEPECH *et al.*, 2000; SAIBENE e MINETTI, 2003; BASTIEN, WILLEMS *et al.*, 2005). Apesar disso, as causas do C ser menor na $V_{\text{ótima}}$ de locomoção com carga ainda não está totalmente compreendidas na literatura.

Intrigantemente, numerosos estudos afirmam que a velocidade de eficiência máxima da caminhada no plano é similar em situações com e sem carga, de modo que no plano existe uma $V_{\text{ótima}}$ independente da carga (ABE *et al.*, 2004; 2008; BASTIEN, WILLEMS *et al.*, 2005), faltando comparar o comportamento da $V_{\text{ótima}}$ durante o transporte de carga na inclinação.

Em relação à adaptação, um desafio para o entendimento dos fundamentos da mecânica e da energética da locomoção humana se refere à alta especialização de algumas populações que realizam sua locomoção em regiões inóspitas da terra suportando cargas pesadas (MALOY, HEGLUND *et al.*, 1986; BASTIEN, WILLEMS *et al.*, 2005; MINETTI, FORMENTI *et al.*, 2006).

Diferentes estudos demonstram situações extremas com transporte de cargas: mulheres africanas carregando cargas na cabeça de até 20% do peso corporal não apresentaram aumento no gasto energético durante locomoção no plano, acredita-se que a carga melhora as trocas energéticas durante a fase de descida do CM, assim como o incremento na transdução entre a EP e EK, determinada pelo comportamento mais exatamente fora de fase das energias mecânicas durante a fase de balanço da caminhada (MALOY, HEGLUND *et al.*, 1986, HEGLUND, WILLEMS *et al.*, 1995; CAVAGNA, WILLEMS *et al.*, 2002). Todavia não é conhecido se essa adaptação no mecanismo pendular devido à carga é sustentada em situações de caminhada na inclinação.

A literatura tem estabelecido que a $V_{\text{ótima}}$ no plano é independente da carga (BASTIEN, WILLEMS, *et al.*, 2005) devido à manutenção do mecanismo pendular nestas situações. Além disso, é conhecido que a transdução pendular não é um

mecanismo importante para explicar o C de locomoção com carga “em inclinações”, devido às mudanças monotóticas das energias mecânicas do CM (E_{mec}) em situações de $\pm 15\%$ de inclinação, nas quais não seriam efetuadas as trocas entre as EP e EK (MINETTI, ARDIGÒ *et al.*, 1993; 1994). Contudo, pouco se sabe também, sobre a $V_{ótima}$ durante locomoção em inclinações e com carga.

Deste modo, o objetivo deste estudo foi comparar o comportamento do mecanismo pendular, dos parâmetros mecânicos e energéticos durante a caminhada com carga no plano (0%) e nas inclinações (+7% e +15%) e em distintas velocidades de caminhada.

1.1. Formato da Dissertação

O estado da arte, apresentado na introdução anterior corroboram o esforço dos pesquisadores no desenvolvimento do conhecimento relacionado à mecânica e energética da locomoção humana.

Assim, os fundamentos científicos atuais procuram encontrar as determinantes mecânicas que caracterizam a caminhada humana, tais como, velocidade, inclinação ótima de locomoção, velocidade ótima de caminhada, eficiência e economia energética em situações de locomoção carregada e em inclinações, e também procuram determinar as mudanças das formas de locomoção com o decorrer dessas situações.

Entretanto, ainda são necessários modelos biomecânicos que analisem questões fundamentais da locomoção humana, devido a que as teorias existentes necessitam de experimentação para torná-las robustas o suficiente.

Portanto, a presente dissertação: *EFEITOS DA INCLINAÇÃO DO TERRENO E DA CARGA SOBRE O TRABALHO MECÂNICO E O CUSTO DE TRANSPORTE NA CAMINHADA HUMANA*, não oferece uma resposta final e acabada para as relações entre a mecânica e energética da locomoção humana, mas tem como eixo fundamental, através da utilização de abordagens experimentais e teóricas, avançar na compreensão do paradigma mecânico do pêndulo invertido, utilizado na caminhada humana, e analisar as adaptações deste mecanismo durante a locomoção com carga e em inclinações.

Com este intuito, no Capítulo 2 é abordado o Referencial Teórico da teoria da mecânica e energética da locomoção humana, onde são expostos os conhecimentos

e limitações atuais do mecanismo do pêndulo invertido da caminhada e é apresentada a problemática da caminhada com carga nas situações inclinadas.

A seguir, no Capítulo 3 intitulado Materiais e Métodos, foi detalhada a metodologia proposta para a coleta de dados que integram o trabalho mecânico e o gasto energético da locomoção, e a metodologia utilizada para seu processamento e análise.

Logo, no Capítulo 4, são apresentados os Resultados obtidos nesta dissertação, através de tabelas e gráficos e breve explicação da análise estatística.

No Capítulo 5, é realizada a Discussão dos resultados obtidos com os achados dos autores que compõem a área de mecânica e energética da locomoção humana, este capítulo, foi dividido em sub capítulos: 5.1 Aspectos mecânicos da locomoção com carga e inclinação; 5.2 Aspectos energéticos da locomoção com carga e inclinação; 5.3 O mecanismo pendular existe nas inclinações; 5.4 Respondendo às hipóteses.

Por fim, no Capítulo 6, são apresentadas as Conclusões do estudo, e algumas considerações finais sobre a mecânica e energética da caminhada com carga na inclinação.

1.2. O problema e sua importância

Qual é o efeito do comportamento do mecanismo pendular sobre o custo de transporte e o trabalho mecânico durante a caminhada com carga no plano e nas diferentes inclinações (+7% e +15%) e em distintas velocidades (VAS, +1AVAS, +2AVAS, -1AVAS e -2AVAS)?

1.3. Hipóteses

H₁: Levando em consideração que o mecanismo pendular modifica seu padrão de oscilação na caminhada em inclinações (GOTTSCHAL e KRAM, 2005), é esperado que a velocidade ótima de caminhada com carga e durante as situações inclinadas seja dependente da massa da carga, diferente da situação no plano.

H₂: Do mesmo modo, o custo de transporte da caminhada em inclinações será maior nas diversas velocidades (VAS, +1AVAS, +2AVAS, -1AVAS e -2AVAS) de locomoção carregada quando comparada com a situação sem carga nas

inclinações, devido ao *recovery* diminuir e a congruência das energias mecânicas aumentarem nas distintas inclinações (+7% e +15%).

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo Geral

Comparar o comportamento do mecanismo pendular (R , R_{int} , %Cong), dos parâmetros mecânicos (W_{ext} , W_{int} , W_{tot} , CP, FP) e energéticos (P_{met} , C, Eff, $V_{ótima}$) durante a caminhada com carga no plano, e nas inclinações (+7% e +15%) e em distintas velocidades de caminhada (VAS, +1AVAS, +2AVAS, -1AVAS e -2AVAS).

1.4.2. Objetivos Específicos

Comparar o W_{ext} da locomoção com e sem carga no plano e nas inclinações (+7% e +15%) como também em diferentes velocidades de caminhada (VAS, +1AVAS, +2AVAS, -1AVAS e -2AVAS).

Comparar o W_{int} da locomoção com e sem carga no plano e nas inclinações (+7% e +15%) bem como em diferentes velocidades de caminhada (VAS, +1AVAS, +2AVAS, -1AVAS e -2AVAS).

Comparar o W_{tot} da locomoção com e sem carga no plano e nas inclinações (+7% e +15%) e em diferentes velocidades de caminhada (VAS, +1AVAS, +2AVAS, -1AVAS e -2AVAS).

Comparar a FP na locomoção com e sem carga no plano e nas inclinações (+7% e +15%) como também em diferentes velocidades de caminhada (VAS, +1AVAS, +2AVAS, -1AVAS e -2AVAS).

Comparar o CP na locomoção com e sem carga no plano e nas inclinações (+7% e +15%) bem como em diferentes velocidades de caminhada (VAS, +1AVAS, +2AVAS, -1AVAS e -2AVAS).

Comparar o R na caminhada humana com e sem carga no plano e nas inclinações (+7% e +15%) e em diferentes velocidades de caminhada (VAS, +1AVAS, +2AVAS, -1AVAS e -2AVAS).

Comparar o R_{int} na caminhada humana com e sem carga no plano e nas inclinações (+7% e +15%) como também em diferentes velocidades de (VAS, +1AVAS, +2AVAS, -1AVAS e -2AVAS).

Comparar o %*Cong* entre as EK e EP da caminhada humana com e sem carga no plano e nas inclinações (+7% e +15%) bem como em diferentes velocidades de caminhada (VAS, +1AVAS, +2AVAS, -1AVAS e -2AVAS).

Comparar a P_{met} sem e com carga no plano e nas inclinações (+7% e +15%) e em diferentes velocidades de caminhada (VAS, +1AVAS, +2AVAS, -1AVAS e -2AVAS).

Comparar o C da locomoção humana sem e com carga no plano e nas inclinações (+7% e +15%) como também em diferentes velocidades de caminhada (VAS, +1AVAS, +2AVAS, -1AVAS e -2AVAS).

Comparar a Eff da locomoção humana sem e com carga no plano e nas inclinações (+7% e +15%) bem como em diferentes velocidades de caminhada (VAS, +1AVAS, +2AVAS, -1AVAS e -2AVAS).

Comparar a $V_{ótima}$ com e sem carga no plano e nas inclinações (+7% e +15%).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Mecânica e energética da caminhada humana

Atualmente sabe-se que a evolução da espécie humana, mais precisamente a evolução para a postura ereta (bípede), ocorreu devido uma forte seleção natural, necessária para a sobrevivência. O fenômeno da evolução da locomoção humana ocorreu também com o objetivo de melhorar de oportunidades de sobrevivência, como por exemplo, a procura de alimentos, a busca por um ambiente melhor e no transporte das ferramentas construídas para a caça (WATSON *et al.*, 2008).

Recentemente foi afirmado que o gasto energético parece ser um componente fundamental da formação das peculiaridades comportamentais dos humanos e das inúmeras adaptações bio-culturais que os indivíduos fazem em seus ambientes (KRAMER, 2010).

A caminhada é o mais conhecido padrão da locomoção e o mais comum de todos os movimentos humanos, apesar da sua alta complexidade. É caracterizado por possuir vários mecanismos biomecânicos e de controle motor para gerar e controlar este padrão de movimento (PENEIREIRO, 2006).

Alguns estudos da caminhada humana utilizam medições do trabalho realizado e da energia necessária pelo corpo para se locomover. Do mesmo modo, a capacidade de realizar trabalho é denominada energia. Portanto, há uma relação entre trabalho e energia que evidencia a necessidade de mudança nos níveis da mesma para que seja realizada a locomoção.

Uma das formas utilizada pelos pesquisadores para descrever e analisar os movimentos humanos é a comparação com modelos mecânicos conhecidos. A modelagem dos movimentos da locomoção é cada vez mais utilizada para compreender a mecânica, analisar as performances esportivas, determinar as técnicas mais efetivas e fornecer um ambiente de simulação dos desempenhos para auxiliar no aperfeiçoamento do controle motor.

Historicamente, no caso da caminhada, os modelos a delinearão como um ovo rolando (CAVAGNA, MARGARIA *et al.*, 1963) ou como um pêndulo invertido (MOCHON e McMAHON, 1980), por meio do qual foi observado que o sistema locomotor consegue reduzir o dispêndio energético requerido pelos músculos durante a execução dos passos (CAVAGNA e KANEKO, 1977).

O paradigma mecânico do pêndulo invertido descreve o comportamento do CM com respeito à EK horizontal e a EP gravitacional (SAIBENE e MINETTI, 2003), (Figura 1).

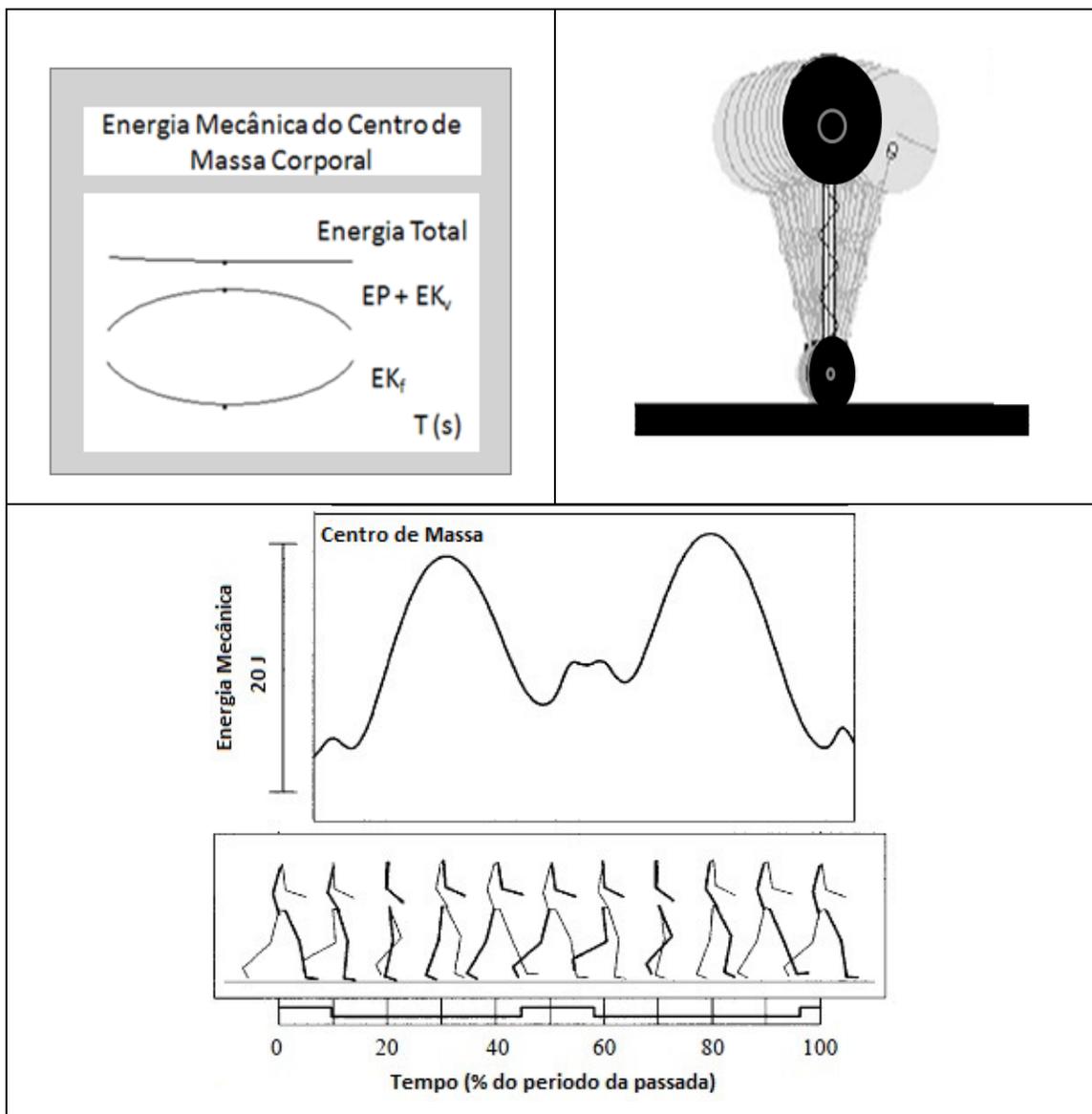


Figura 1. Parte superior, o comportamento das energias na caminhada: energia mecânica do centro de massa (TE: energia total; EP: Energia Potencial; EK_v: energia cinética vertical; EK_f: energia cinética horizontal; t (s): tempo em segundos). Um único *pogo-stick* simula a estrutura altamente rígida do pêndulo invertido (Modificado de SAIBENE e MINETTI, 2003). Parte inferior, o comportamento do CM durante um ciclo de passada (Modificado de WILLEMS *et al.*, 1995).

Na caminhada, a EP é alta quando o CM está acima do ponto de contato do pé com o solo, mas a partir deste momento a EP começa a diminuir e a EK obtém

um aumento gradativo. Estes comportamentos contrários entre a EK horizontal e a EP gravitacional acontecem em oposição de fase e, portanto com um processo de reconversão entre EK e EP (*recovery- R*) (CAVAGNA, MARGARIA *et al.*, 1963; CAVAGNA, LEGRAMANDI *et al.*, 2008).

Apesar de que em seu começo, o paradigma do pêndulo invertido permitiu aos pesquisadores uma melhor compreensão do movimento da caminhada, com o transcorrer dos tempos foram necessárias medições reais para explicar os limites impostos pelo ambiente ao sistema musculoesquelético, e surgiu como medida unificadora dentro do estudo da locomoção a mensuração do W_{mec} .

Deste modo, Fenn em 1930 estabeleceu um método cinematográfico, no qual por meio de imagens calculava diretamente os ângulos dos segmentos e as posições lineares dos centros segmentares, alcançando calcular a velocidade dos CM segmentares, mas, a limitação deste método era a desconsideração da EP em seus cálculos. Posteriormente, foi utilizado o Teorema de König, no qual o corpo era tomado com um sistema multiarticulado, e as variações da EK do sistema eram consideradas e divididas em duas partes, a variação de EK advindas das mudanças de velocidade dos segmentos em relação ao CM (referencial local) era o W_{int} , e as variações EK advinda da velocidade do CM em relação ao ambiente (referencial global) eram compreendidas como W_{ext} (CAVAGNA, MARGARIA *et al.*, 1963; CAVAGNA, SAIBENE *et al.*, 1964).

Desde então o W_{ext} e o W_{int} têm sido amplamente estudados pelos autores, conseguindo calcular o W_{tot} ($W_{tot} = |W_{ext}| + |W_{int}|$) executado durante o movimento da caminhada (SAIBENE e MINETTI, 2003), (Figura 2).

Na caminhada o W_{ext} avaliado (trabalho necessário para elevar e acelerar o CM corporal em relação ao ambiente externo) é o trabalho realizado pelos músculos, e na intenção de mensurar este W_{ext} torna-se necessário medir a EP e a EK do CM. O somatório destes dois tipos de energia resulta na E_{tot} , e sendo que as mudanças desta energia, são utilizadas para os posteriores cálculos do somatório de todos os incrementos positivos da E_{tot} em um CP resultam no trabalho mecânico positivo (W_{mec}^+). Isto é calculado através de equações, as quais precisam de valores resultantes da cinemetria ou das plataformas de força, obtendo-se então a velocidade e os deslocamentos verticais e horizontais do CM corporal (SAIBENE e MINETTI, 2003).

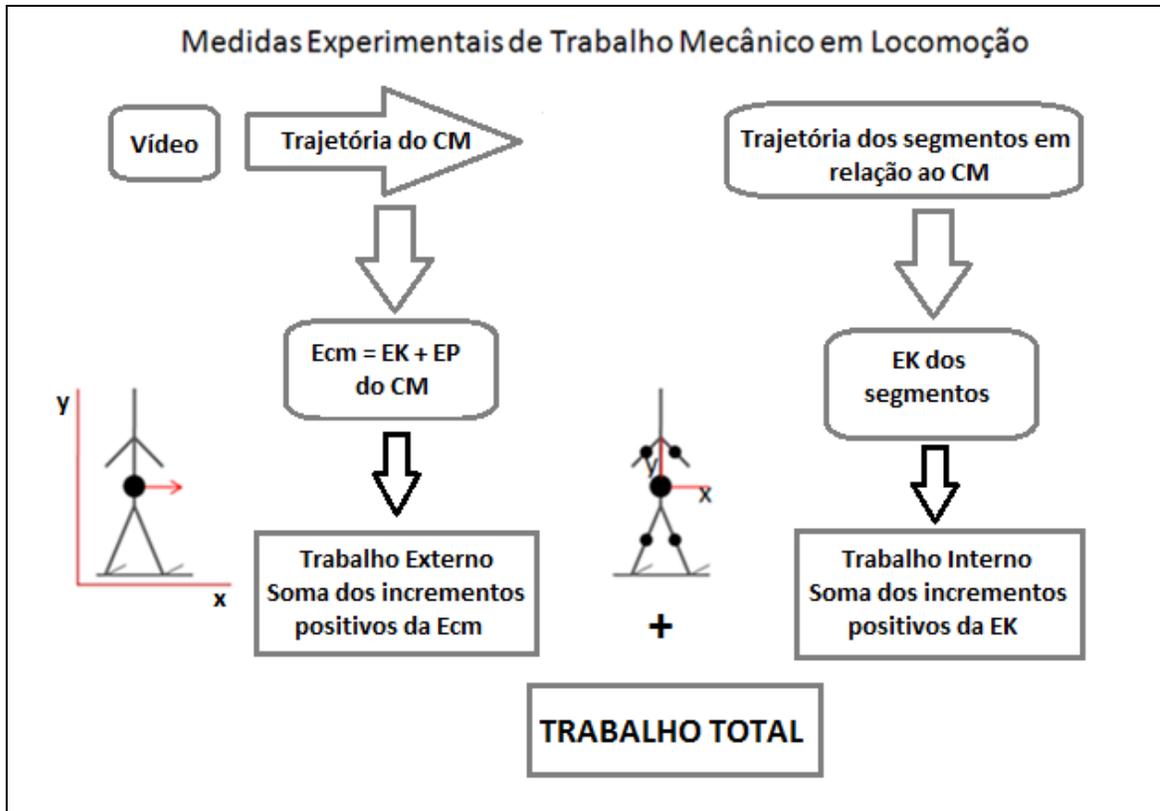


Figura 2. Medidas Experimentais de Trabalho Mecânico em Locomoção. A figura representa o método da cinematria para determinar W_{mec} na locomoção. A Energia Cinética (EK) é advinda da velocidade, a Energia Potencial (EP) é advinda da posição vertical, a Energia Total (E_{cm}): $EK+EP$. Trabalho é ΔE_{cm} . W_{tot} , W_{ext} , W_{int} são trabalho total, trabalho externo e trabalho interno, respectivamente. (Modificado de SAIBENE e MINETTI, 2003).

O W_{int} (trabalho realizado para acelerar os segmentos em relação ao CM) pode ser medido utilizando a análise de movimento dos segmentos corporais ou pode ser estimado por equações que envolvem as seguintes variáveis: progressão da velocidade, FP e *duty factor* (a fração da passada em que um pé está em contato com o solo) (Minetti, 1998).

É conhecido que a caminhada humana apesar de sua alta complexidade apresenta alguns aspectos de ineficiência comparando-a com outros animais (pássaros e peixes), baseado no fato de que os membros inferiores encostam repetidamente no solo, para absorver e transferir energia (W_{mec}^- e W_{mec}^+ , respectivamente) com o meio ambiente, caracterizando situações de grandes acelerações. Para manter a velocidade média da locomoção humana, torna-se necessário um gasto energético que permita uma re-aceleração do CM (CAVAGNA, THYS *et al.*, 1976; CAVAGNA, LEGRAMANDI *et al.*, 2008, CAVAGNA, 2010).

Outra medida importante de ser avaliada é o gasto energético da caminhada, que é determinado por tarefas mecânicas como gerar força para suportar o peso do corpo, efetuar o trabalho para redirecionar e acelerar o CM a cada passo, promover o balanço dos membros e manter a estabilidade (GRABOWSKI, FARLEY *et al.*, 2005).

A quantificação do gasto energético durante a locomoção é considerada um instrumento útil para avaliação das habilidades funcionais, pois sua interpretação fornece dados referentes à resistência, à fadiga e à habilidade de se locomover durante atividades de vida diária, trabalhos ocupacionais e esportes competitivos ou de lazer, e também pode servir para proporcionar informações que permitam optar por uma melhor estratégia (econômica) ao efetuar estas atividades.

Margaria em 1938, no intuito de mensurar a economia da caminhada avaliou o gasto energético da mesma em uma dada distância percorrida. Posteriormente, Schmidt-Nielsen (1972) denominou este parâmetro como custo de transporte (C). Assim, definiu o C como o quociente entre a potência metabólica (P_{met}) líquida dividida pela velocidade, sendo normalizada pela massa corporal. Na caminhada, essa relação entre o gasto energético acima do repouso e a velocidade, pode ser descrita empiricamente utilizando uma equação quadrática, e como resultado, o C mostra um mínimo em uma velocidade intermediária, muitas vezes denominada velocidade ideal ou ótima, a qual é muito próxima da velocidade espontânea de caminhada. Ainda, foi determinado que em cada velocidade de caminhada há uma FP ótima, que se corresponde com a FP livremente escolhida, que também minimiza o C (SAIBENE e MINETTI, 2003).

Desde então, o C relacionado à energia utilizada para percorrer uma distância, é comumente usado como um marcador de economia energética da caminhada humana. Estudos indicam que a velocidade ótima de caminhada no plano ($V_{ótima}$), na qual ocorre o menor dispêndio energético na caminhada, estaria próxima aos $4,5 \text{ km.h}^{-1}$ em adultos e em crianças a partir dos 12 anos de idade, e em indivíduos de diferentes tamanhos (DeJAEGER *et al.*, 2001; SAIBENE e MINETTI, 2003; ABE, YANAGAWA *et al.*, 2008; WEYAND *et al.*, 2010).

Assim, as possibilidades de estudo da mecânica e energética da locomoção humana foram ampliadas com os dados do C, complementando outras medidas. A partir das mensurações do W_{mec} no estudo da locomoção, os dados de consumo metabólico permitiram também abordar outras formulações matemáticas como a Eff

e o R , e foi possível, demonstrar que a Eff é máxima na FP preferida da caminhada (UMBERGER e MARTIN, 2007).

A Eff é calculada a partir dos valores da potência mecânica gerada (entendida como o somatório dos incrementos positivos de energia mecânica externa durante uma passada sobre o tempo da passada) dividida pela P_{met} despendida durante uma passada. Esse cálculo na locomoção permite discernir o porquê de alguns interrogantes como, por exemplo, o fato de que animais de maiores tamanhos corporais gastam menos energia para se locomover, ou que certos indivíduos são mais econômicos que outros ao realizar a mesma atividade (por exemplo, os carregadores Nepaleses em comparação aos montanhistas caucasianos) (PEYRÉ TARTARUGA, 2008).

O R é definido como o percentual de reconversão de energia por via pendular entre a EK e a EP durante um ciclo de passada. Por meio deste, foi determinado que na $V_{ótima}$ da caminhada humana o R atinge o máximo valor, aproximadamente 60% de reconversão (CAVAGNA, THYS *et al.*, 1976; HEGLUND, FEDAK *et al.*, 1982a; CAVAGNA, LEGRAMANDI *et al.*, 2008, CAVAGNA, 2010).

As mudanças na produção do W_{mec} podem comprometer o dispêndio energético. Estudos realizados relacionando o C com a velocidade encontraram que na caminhada humana no plano há uma $V_{ótima}$ na qual o dispêndio energético por distância percorrida é mínimo, e essa velocidade é aproximadamente de $4,5 \text{ km.h}^{-1}$ em adultos, e coincide com a velocidade livremente selecionada (MINETTI, ARDIGÒ *et al.*, 1993; SAIBENE e MINETTI, 2003).

2.2. Caminhada humana na inclinação

O custo energético de caminhada é alterado devido às diferentes situações realizadas pelo aparelho locomotor. Em relação à locomoção com restrições do ambiente, os autores têm estabelecido que em superfícies deformáveis (areia e neve) ou em inclinações o custo energético de caminhada é maior que a locomoção em superfícies firmes ou em terrenos planos (ALEXANDER, 2002).

Está bem estabelecido que nos humanos, o custo energético por unidade de distância percorrida é mínimo a uma velocidade intermediária de caminhada, definida energeticamente como $V_{ótima}$. Não obstante, hoje ainda pouco se sabe acerca da $V_{ótima}$ na inclinação quando se carrega uma carga.

Ao mesmo tempo, é conhecido que a inclinação do terreno onde se realiza a caminhada repercute sobre o C da locomoção (MARGARIA, 1968; MINETTI *et al.*, 1993; 1994; ÀRDIGO *et al.*, 2003). Também, quando no plano é comparado C da caminhada, da corrida e do ciclismo, este último é considerado o meio mais econômico de locomoção. Mas, estas diferenças diminuem com o incremento da inclinação e, em gradientes superiores aos 20%, a caminhada se torna o modo mais econômico de se locomover (ARDIGÒ, SAIBENE *et al.*, 2003).

No estudo pioneiro de Margaria (1938), sobre a caminhada na inclinação, foram apresentados os primeiros dados obtidos da caminhada e corrida em várias velocidades e inclinações (variação do terreno de $\pm 40\%$), e também se avaliaram o dispêndio de energia metabólica por unidade de distância percorrida na inclinação (denominada C_{path}) em todas as condições. Esse estudo demonstrou que há uma inclinação em declive aproximadamente de -10% (entendida como 1m de descida vertical para cada 10m de deslocamento horizontal), na qual o C é mínimo.

Além disso, foram realizadas as primeiras mensurações de consumo de oxigênio em sujeitos caminhando sobre esteiras rolantes inclinadas, as quais demonstraram que o C para caminhar a mesma distância em gradientes positivos ou maiores do que -10% negativos eram sempre maiores do que para caminhar em terrenos planos (ALEXANDER, 2002).

Não obstante à falta de análise computacional do movimento naquela época, foi possível formular algumas hipóteses sobre os determinantes mecânicos e do C durante a locomoção humana na inclinação. O principal conceito proporcionado com respeito à energética da locomoção na inclinação foi determinado como C_{path} (custo do caminho) no qual o custo mínimo foi encontrado a -10% de inclinação, mas, nesses estudos não foram reportadas estratégias para a minimização do custo vertical (C_{vert} , ou a energia metabólica necessária para poder enfrentar uma mudança dada na altitude), durante ambas as situações de locomoção em subida e descida (MINETTI, 1995).

Outros achados importantes em relação ao gradiente de locomoção são oriundos do estudo de Pimental e Pandolf (1979), os quais encontraram que um incremento de 10% na inclinação do terreno provocava um marcado aumento no consumo de oxigênio, e posteriormente, Legg e colaboradores (1992) determinaram que esse incremento no consumo energético começa a aparecer de modo importante em inclinações de 5%.

Pesquisas realizadas com animais vertebrados terrestres determinaram que a inclinação do terreno afeta todos os movimentos dos membros, os quais por sua vez produzem mudanças na ativação muscular, no estiramento e na produção de força (HIGHAM e BIEWENER, 2008).

Sobre as diferenças entre os gêneros e o consumo de oxigênio nas inclinações, os autores encontraram que o dispêndio metabólico era maior em mulheres que nos homens em gradientes de 10% e 15%, e uma das respostas dada para explicar isto foi que as mulheres realizavam maior movimento dos membros superiores durante a fase de balanço da caminhada, incrementando o W_{int} (KANG, CHALOUPKA *et al.*, 2002).

Estudos realizados por Minetti (1995) como uma continuação aos de Margaria, determinaram que o mecanismo do pêndulo na caminhada, produz uma diminuição de W_{mec} contra a gravidade entre $\pm 15\%$ de inclinação, e esse fato se deve à arquitetura do aparelho locomotor que determina o alto custo vertical da caminhada acima dos 15% de inclinação; enquanto que para valores mais íngremes, somente a eficiência muscular (associada à relação força/comprimento dos músculos extensores) é responsável pelas mudanças metabólicas (por metro de deslocamento vertical percorrido) nas inclinações de 15 até 40%.

A inclinação ótima de locomoção ou de mínimo C_{vert} durante ascensão foi encontrado, a aproximadamente, 25%, e nessa inclinação a velocidade que minimiza o C em subida foi estabelecida em aproximadamente $0,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($+0,16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ vertical) e em descida $1,50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($-0,36 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ vertical). Além disso, relacionando os achados com estratégia de caminhada na montanha, determinaram que quando a inclinação do terreno é $>25\%$, a inclinação ideal do caminho é de 25%, e em gradientes com inclinações menores ($<25\%$), a estratégia mais econômica é escolher a linha mais direta ao ponto de chegada. Deste modo, na tentativa de explicar qual era o critério para a demarcação real dos caminhos de montanha das comunidades situadas na altura, este estudo afirmou que esses caminhos eram, possivelmente, selecionados pela minimização do C (MINETTI, 1995).

O W_{mec} durante a locomoção em inclinações tem sido estudado na caminhada (MINETTI, ARDIGÒ *et al.*, 1993) e na corrida (MINETTI, ARDIGÒ *et al.*, 1994) encontrando valores de maior Eff entre 10 e 15 graus de inclinação negativa (declive). Todavia, o modelo do pêndulo invertido não se sustenta para situações de

inclinações extremas $\pm 25\%$ (PEYRÉ TARTARUGA, 2008, PEYRÉ TARTARUGA e GOMEÑUKA, 2010).

O descobrimento mais intrigante dos estudos de Minetti e colaboradores, sobre as determinantes mecânicas da energética da caminhada e corrida em inclinações (1993; 1994, respectivamente), foi a determinação da ausência de W_{mec}^- em inclinações positivas, e de W_{mec}^+ em inclinações negativas (após 30% de inclinação na corrida e 15% na caminhada), independente da velocidade (PEYRÉ TARTARUGA, 2008), (Figura 3).

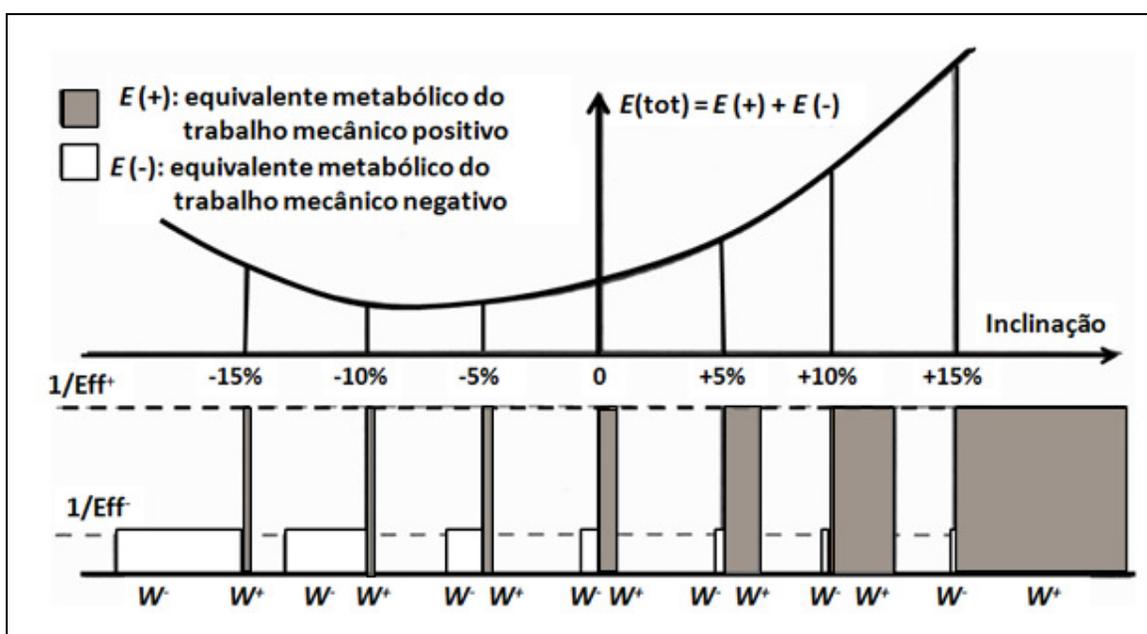


Figura 3. Contribuição de trabalho positivo (W^+) e trabalho negativo (W^-) durante a caminhada em inclinações de $\pm 15\%$. É observado que aos $+15\%$ há uma predominância quase total de W^+ (retângulos cinzas) e aos -15% a predominância é de W^- (retângulos brancos; Modificado de MINETTI, ARDIGÒ *et al.*, 1993).

Em concordância com os achados anteriores, Todd e colaboradores (2000) determinaram que na descida o W_{mec}^- (excêntrico) era menos dispendioso que o W_{mec}^+ (concêntrico) realizado na subida, inclusive transportando cargas de 50 kg.

Os efeitos da duração do esforço sobre as respostas mecânicas são, provavelmente, diferentes em aclave ou declive, pois o W_{mec} e C são maiores em aclives que em declives nas mesmas velocidades, com mudanças substanciais na razão entre trabalho mecânico positivo e negativo (MINETTI, ARDIGÒ *et al.*, 1993; 1994).

No entanto, um estudo que avaliou as adaptações locomotoras em diferentes inclinações (3º, 6º e 9º), determinou que ao realizar a transição da caminhada no plano para a caminhada na inclinação é imposta uma série de desafios ao sistema do controle motor, assim, a configuração dos segmentos corporais e do suporte postural, são modificados conforme aumenta a inclinação. Portanto, entre outras mudanças, o padrão de caminhada é alterado, e também a maneira de efetuar o contato do pé com o solo. Estas mudanças evidenciam que o sistema de controle da locomoção é capaz de conduzir ou alterar a mecânica dos membros inferiores de forma muito eficaz, realizando leves alterações no tempo e na magnitude da contração muscular nas inclinações (PRENTICE, HASLER *et al.*, 2004).

Em outro sentido, foi estudada a combinação de exercícios cognitivos (resolução de exercícios matemáticos simples) durante a realização de caminhadas em gradientes positivos e negativos, e apontou-se que os sujeitos caminharam a maiores velocidades na situação de descida e por sua vez a sensação de esforço era menor quando comparadas com a subida. Uma possível explicação para esta sensação subjetiva de esforço menor foi que o trabalho muscular excêntrico (predominante na descida) é menos dispendioso que o trabalho muscular concêntrico requerido para a locomoção em subida, tendo em consideração também que o consumo de oxigênio é significativamente maior nos gradientes positivos que nos negativos, em concordância com outros estudos (MASTROIANNI, CHUBA *et al.*, 2003).

Diversas investigações realizadas em robôs simulando situações de gradientes entre $\pm 20\%$, encontraram do mesmo modo que na subida a velocidade horizontal de locomoção diminuía e a FP aumentava, devido ao fato de que durante a fase de apoio simples o quadril do robô encontrava-se a uma menor altura quando era comparada com a descida, situação na qual o quadril encontrava-se mais elevado e favorecia a fase de balanço, que por sua vez produzia um incremento na velocidade de locomoção na descida (CHEW, PRATT *et al.*, 1999; PRATT, CHEW *et al.*, 2001).

Outros estudos avaliaram os variáveis espaço temporais e tem relatado que a velocidade de caminhada e o CP diminuem com o incremento das inclinações negativas, e que CP aumenta com o incremento da inclinação positiva (LEROUX *et al.*, 2001). Deste modo, se acredita que as mudanças do CP na caminhada seja uma resposta à necessidade de reduzir a demanda de atrito e assim evita o

escorregamento nas inclinações. Igualmente foram descritas alterações cinemáticas nos membros inferiores e do tronco, os quais estariam relacionados com a absorção das demandas requeridas nas inclinações (McINTOSH, BEATTY *et al.*, 2006).

Igualmente foi verificado que durante a caminhada humana no plano o CM eleva-se em média 4,4 cm (na primeira metade da fase de apoio) e desce igual, 4,4 cm (na segunda metade da fase de apoio) (GOTTSCHELL e KRAM, 2005). Além disso, foi determinado que uma diminuição do deslocamento vertical do CM, com uma trajetória mais plana do CM, duplicam o C da caminhada no plano, devido à diminuição das trocas energéticas quando comparada com a caminhada normal (ORTEGA e FARLEY, 2005). Deste modo, se o padrão de oscilação do CM é alterado durante a caminhada em inclinação, pode igualmente repercutir no C nas inclinações.

Especificamente nas inclinações, e em uma descida a -9° , foi encontrado que a altura do CM dos sujeitos subia menos de 1,5 cm e descia 8,7 cm. Enquanto que em uma subida a $+9^\circ$, a altura do CM se eleva 9,2 cm e descia somente 1,8 cm. Deste modo, os autores determinaram que os padrões de oscilação da EP gravitacional do CM eram assimétricos durante cada período de apoio simples para ambas as condições de caminhada (subida e descida), observando que a EP gravitacional do CM predominantemente diminuía durante a caminhada em descida e aumentava na subida. Deste modo, os autores concluíram em relação ao ângulo de inclinação, que o intercâmbio da E_{cm} era mais efetivo durante as descidas em inclinações moderadas e menos efetivo durante caminhadas em subida (GOTTSCHELL e KRAM, 2005).

Não obstante, ainda falta compreender se esse fator de oscilação do CM é incrementado em maiores inclinações ($+15^\circ$), e como isto repercutirá na $V_{ótima}$ de caminhada.

2.3. Caminhada humana com carga

Além da restrição do ambiente, anteriormente citada, outro fator determinante que produz alterações na mecânica e na energética da locomoção humana é o carregamento de cargas.

O transporte de uma carga é definido como a locomoção na qual se carrega uma massa externa podendo ser suportada de diferentes formas, entre elas, pela

cabeça (sacos, baldes, contêineres), ombros (balancins, bolsas), costas (mochilas ou cestas), mãos (uni manuais, bi manuais) (LEGG, 1985).

De modo geral, o transporte de cargas é realizado por curtas distâncias, e utiliza-se das mãos ou braços, de maneira uni ou bilateral, sendo que nas tarefas diárias, as cargas são geralmente transportadas por uma mão. Assim, diferentes estudos tentam demonstrar as alterações na postura decorrentes do transporte de cargas, durante a execução da tarefa, no método de carregamento, comparações entre gêneros, diferentes idades, entre outros, tanto para realizar um planejamento eficaz da força de trabalho, como também para prevenir lesões e doenças no trabalho (CHAFFIN, 1987; SARRAF, 2006; GARCIAGUIRRE, ADOLPH *et al.*, 2007).

Contudo, o transporte de cargas é indispensável em muitas tarefas ocupacionais e atividades de vida diária. Durante o carregamento de cargas, o equilíbrio dinâmico pode ser alterado devido a uma assimetria postural imposta pelo diferente arranjo das estruturas corporais que ocorrem para acomodar a carga, como por exemplo, os desvios laterais do tronco, no ângulo de inclinação do tronco à frente e do CM durante o transporte de cargas assimétricas (KINOSHITA, 1985; WU e MacLEOD, 2001) e simétricas (DEVITA, HONG *et al.*, 1991). Desta forma a necessidade de reestruturação do equilíbrio pode levar a outras alterações no padrão dinâmico da caminhada (SARRAF, 2006).

A caminhada humana normal é caracterizada por padrões econômicos de movimento. Não somente os indivíduos escolhem uma velocidade de caminhada que requer mínima energia para percorrer determinada distância, mas também utilizam uma FP que minimiza o consumo metabólico. Em velocidades constantes, a curva da taxa metabólica tem a forma de U, onde o mínimo dessa curva coincide com a FP preferida ou autoselecionada (UMBERGER e MARTIN, 2007)

Por conseguinte, é bem descrito na literatura que existe uma velocidade específica que minimiza o C da caminhada no plano por unidade de distância percorrida ($V_{ótima}$) (FALOLA, DEPECH *et al.*, 2000; SAIBENE e MINETTI, 2003; BASTIEN, WILLEMS *et al.*, 2005). Apesar disso as causas do C ser menor na “velocidade preferida” de locomoção com carga ainda não estão completamente compreendidas na literatura.

Atualmente, se afirma que o W_{mec} que os músculos realizam durante a caminhada depende de um custo metabólico, mas este custo de realização de trabalho não é determinado apenas pela mudança na E_{mec} que é produzida. Os

músculos realizam W_{mec} com eficiência variável que depende tanto da carga quanto da velocidade de contração muscular (BARCLAY, CONSTABLE *et al.*, 1993; BARCLAY, 1994). Uma grande quantidade de W_{mec} é realizada durante a locomoção, algumas evidências sugerem que uma fração não trivial dessa energia é armazenada em estruturas elásticas e reutilizada em algum ponto do ciclo da marcha (FUKUNAGA, KUBO *et al.*, 2001; HOF, VAN ZANDWIJK *et al.*, 2002).

Além disso, é reconhecido que o complexo músculo-tendão funciona como uma mola, que absorve, armazena e retorna energia durante diferentes partes do ciclo de passo como uma forma de aumentar a economia energética. Do mesmo modo, mecanismos elásticos externos podem também ser empregados para carregar cargas, por exemplo, as varas de bambu ou madeira muito utilizadas por populações Asiáticas (KRAM, 1991; REN, JONES *et al.*, 2005).

Em relação à adaptação, um desafio para o entendimento dos fundamentos da mecânica e da energética da locomoção humana se refere à alta especialização de algumas populações que realizam sua locomoção em regiões inóspitas da terra suportando cargas pesadas (MALOY, HEGLUND *et al.*, 1986; BASTIEN, WILLEMS *et al.*, 2005; MINETTI, FORMENTI *et al.*, 2006).

Diferentes estudos demonstram situações com transporte de cargas extremas, como as mulheres africanas carregando cargas na cabeça de até 70% do peso corporal que não apresentam aumento no W_{tot} durante caminhada no plano. Esse fato ocorre por uma maior eficiência na transdução entre EP e EK (HEGLUND, FEDAK *et al.*, 1982a; MALOY, HEGLUND *et al.*, 1986). Outras pesquisas sobre as mulheres africanas apontaram que a carga melhora as trocas energéticas durante a fase de descida do CM, assim como o incremento na transdução entre a EP e EK, determinada pelo comportamento mais exatamente fora de fase das energias mecânicas durante a fase de balanço da caminhada (CAVAGNA, WILLEMS *et al.*, 2002). Ainda falta conhecer se essa melhora no mecanismo pendular devido à carga é sustentada em situações de caminhada na inclinação em sujeitos não adaptados a esta atividade.

Ao mesmo tempo, e analisando o gasto energético foi afirmado que aumenta nas inclinações devido à exigência de maiores contrações muscular para o controle do equilíbrio, especialmente em caminhadas em inclinações íngremes ou com cargas que são transportadas acima da altura do CM (KRAMER, 2010).

Ainda, foi determinado que durante as situações de caminhada em inclinações o gasto energético é alterado como uma resposta associada às alterações cinéticas e cinemáticas da caminhada em gradientes, que seriam necessárias para evitar o escorregamento. Deste modo, foi apontado que as mudanças nos parâmetros espaço temporais da caminhada podem limitar o escorregamento ao invés de minimizar o gasto de energia (McINTOSH, BEATTY *et al.*, 2006).

Outra locomoção surpreendente é a dos carregadores nepaleses, que desde a infância transportam cargas entre 80 e 90% da massa corporal (utilizando uma faixa colocada na testa a qual é ligada a uma cesta de vime nas costas), e apresentam maior economia durante a locomoção em inclinação positiva (que não é atribuída às trocas de EP e EK). O diferente padrão de oscilação do segmento cabeça e tronco, onde é suportada a carga, sugere que a habilidade motora de equilibrar o segmento corporal carregado acima do quadril pode determinar a economia desse tipo de locomoção ao limitar o esforço muscular, além de uma melhor adaptação cardiocirculatória à altitude (MINETTI, FORMENTI *et al.*, 2006; PEYRÉ TARTARUGA, 2008).

Encontra-se bem estabelecido que o C por unidade de distância percorrida é mínimo em uma $V_{ótima}$ de caminhada no plano. Não obstante, pouco se sabe acerca da $V_{ótima}$ de caminhada durante o transporte de carga (BASTIEN, WILLEMS *et al.*, 2005).

Contudo, existem controvérsias quando se procura explicar o “gasto de energia” em situações de “locomoção carregada”. Estudos realizados por Falola e colaboradores (2000) apresentaram resultados nos quais corroboravam o efeito da carga sobre C da caminhada, mesmo que a carga não afete a $V_{ótima}$. Outros estudos determinaram um aumento considerável na percepção subjetiva de esforço com cargas de 10% do peso corporal (MASTROIANNI, CHUBA *et al.*, 2003).

Posteriormente, Bastien e colaboradores (2005) evidenciaram que no caso da caminhada no plano existe uma $V_{ótima}$ em situações de transporte de carga de até 75% do massa corporal, estabelecida entre $0,9 - 1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Figura 4).

Igualmente, existem adaptações registradas devido à carga, entre elas: inclinações do tronco para frente, aumento da flexão do joelho, redução da rotação pélvica e aumento do grau de rotação do pé no plano sagital (KINOSHITA, 1985; MARTIN e NELSON, 1986; KNAPIK, HARMAN *et al.*, 1996). Desta forma, alguns

determinantes da marcha são alterados, podendo afetar o deslocamento do CM e, conseqüentemente, a Eff da locomoção, aumentando assim o C.

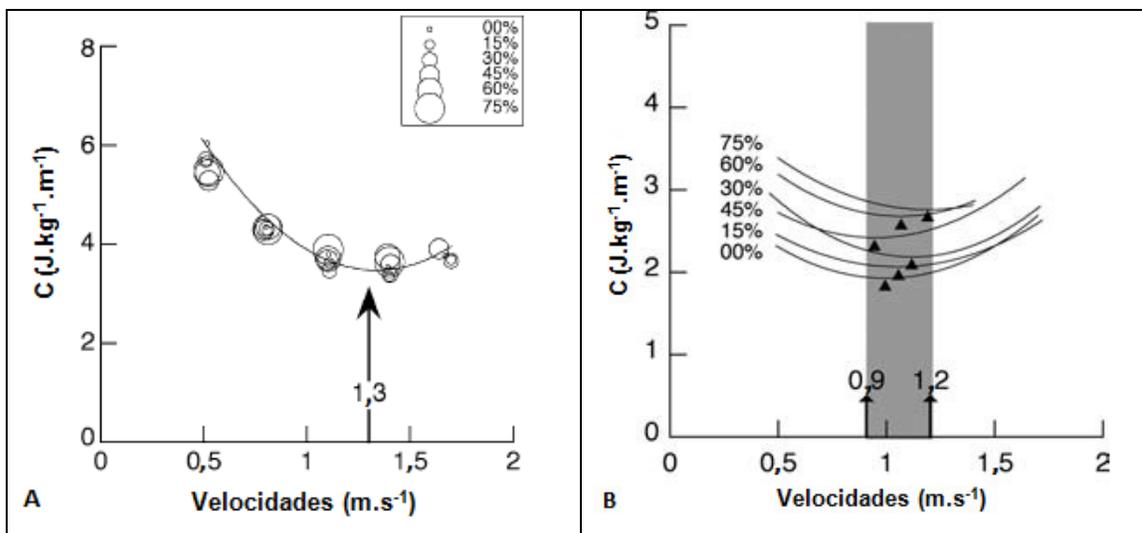


Figura 4. (A) Velocidade ótima de caminhada no plano; **(B)** A velocidade ótima de caminhada no plano com cargas de 0% até 75% do peso corporal. Independente da carga permanece a uma velocidade entre os 0,9 e 1,2 m.s⁻¹, que corresponde a velocidade ótima encontrada na caminhada no plano e sem carga (Modificado de BASTIEN, WILLEMS *et al.*, 2005).

LaFiandra e colaboradores (2002) determinaram que o aumento do torque na parte superior do corpo contribui com a probabilidade de sofrer lesões devido à carga. Algumas estratégias para evitar isto seriam: o aumento na FP, diminuição do CP, diminuição na contra-rotação entre tórax e pélvis, diminuição de amplitude de movimento no plano transversal da rotação pélvica e torácica as quais minimizariam a geração de torque na parte superior do corpo. Estas estratégias otimizam o esforço muscular neutralizando o torque que seria gerado, e assim tornam a carga mais controlável.

Recentemente, o estudo de Kavanagh (2009) analisou os movimentos da parte baixa do tronco e sua dependência com a velocidade de caminhada, e determinaram que ao alterar a velocidade da caminhada de um indivíduo são produzidas mudanças sistemáticas em parâmetros tem cinemáticos e cinéticos do membro inferior. Também, foi descrito que na caminhada em velocidades mais baixas que a preferida, a aceleração do tronco é alterada principalmente no plano frontal, diferentemente do que acontece na velocidade preferida e na velocidade

acima desta, mas ainda falta saber se essas alterações serão incrementadas com uma carga transportada nas costas.

Em um estudo experimental de Holewijn (1990), sobre os efeitos da carga e tipo de transporte (no ombro ou na cintura), os parâmetros fisiológicos mostraram que, durante a caminhada, tanto a frequência cardíaca quanto o consumo de oxigênio foram influenciados pelo peso carregado, porém, com valores abaixo do limite necessário para produzir fadiga.

Sugere-se também, que a demanda metabólica durante a caminhada com carga aumente linearmente com o peso da carga (ABE, YANAGAWA *et al.*, 2004; BASTIEN, WILLEMS *et al.*, 2005).

Pesquisas sobre a posição da carga recomendam que quanto mais próximo a do CM, menor o C durante a locomoção. Deste modo, as mochilas duplas (com metade da carga na frente do corpo e metade da carga sobre as costas) têm um menor C que a mochila normal. Contudo, as mochilas de apoio nas costas proveem uma ampla versatilidade na maioria das situações (KNAPIK, HARMAN *et al.*, 1996).

Outros estudos avaliaram a relação entre a velocidade de caminhada no plano e a carga, no qual foi determinado que o C de caminhada varia em função do tipo de mochila, seja esta flexível ou rígida. A mochila rígida apresenta vantagens fisiológicas e mecânicas com respeito à mochila flexível, a qual em velocidades acima de $4,5 \text{ km.h}^{-1}$ é movimentada exageradamente, produzindo um aumento na excursão vertical do tronco e, conseqüentemente, um aumento no C da caminhada (FOISSAC, MILLET *et al.*, 2009).

Assim, estudando outros tipos de mochilas, observou-se efeito da carga colocada em uma mochila com sistema amortecedor, foi estabelecida a produção de uma defasagem entre a energia mecânica da mochila e a do tronco, resultando que a carga suspensa em uma mochila com amortecedores provoca uma redução do C dos músculos durante a transição da fase de apoio simples para a fase de duplo apoio, permitindo assim, através deste sistema, transportar cargas mais pesadas (ROME, FLYNN *et al.*, 2006; XU, HSIANG *et al.*, 2009).

Alguns estudos relatam efeitos mecânicos da carga durante a caminhada, os quais afetam a fase de balanço que diminui com aumento da carga, diferentemente do que acontece na fase de apoio que não é afetada por cargas maiores de 50% do peso corporal (KNAPIK, HARMAN *et al.*, 1996).

Contudo, quando o transporte da carga é assimétrico (como levando uma criança no lado lateral do quadril ou levando um peso em uma mão), ocorre uma diminuição do tempo de duplo apoio em função do aumento da carga, que seria devido à necessidade de recuperação da instabilidade da caminhada causada pela alteração compensatória na trajetória do CM, o que torna a caminhada menos eficiente (que o transporte simétrico) e aumenta o C da locomoção com carga. (KINOSHITA, 1985; MARTIN e NELSON, 1986).

Não obstante, alguns autores coincidem que o CP é diminuído e a FP é aumentada para manter padrões normais de caminhada durante transporte de cargas. Mesmo que, para uma determinada velocidade da caminhada, o CP é constante ou se torna menor com o aumento da carga (KNAPIK, HARMAN *et al.*, 1996; HARMAN, HAN *et al.*, 2000). Do mesmo modo, em uma dada velocidade a FP e a fase de balanço são constantes durante o transporte de cargas nas costas. Desta forma, o trabalho muscular ou força e o custo metabólico necessário para o balanço dos membros inferiores em relação ao CM não se altera com transporte de carga, mas o aumento do custo metabólico reflete apenas o custo da fase de apoio (GRIFFIN, ROBERTS *et al.*, 2003).

Analisando a implicação da interação carga-velocidade na caminhada com mochila foi reportado que os efeitos da carga são consistentes ao longo das velocidades e vice-versa. Assim, as FRS, impulso, força articular, torque muscular, atividade eletromiográfica e aceleração da mochila aumentam quando a velocidade e/ou carga aumenta. Uma das adaptações decorrentes do aumento da carga é o aumento do percentual de duplo apoio do tempo da passada enquanto diminui o ângulo máximo do quadril. Provavelmente, para melhorar a estabilidade e reduzir o estresse sobre o sistema musculoesquelético. Contudo, com o aumento da velocidade da caminhada essas adaptações tendem a desaparecer, e em baixas velocidades a FP aumenta e o tempo de passada diminui com o aumento da carga (HARMAN, HAN *et al.*, 2000).

Outras descrições biomecânicas apresentadas na literatura consideram mudanças nos parâmetros cinemáticos do CM e de rigidez articular do joelho em situações de carga utilizando mochilas. Os achados indicam que o ângulo articular do joelho e a excursão vertical do CM durante a compressão (fase de carga) aumentaram em função da velocidade, mas não da carga. Enquanto que as medidas de rigidez apresentaram, simultaneamente, aumentos significativos em função da

velocidade e da carga. Deste modo, é possível que os aumentos de rigidez muscular sejam utilizados para manter uma excursão vertical do CM constante em situação com carga em qualquer velocidade, evitando assim o aumento do gasto metabólico, que aconteceria se o CM se deslocasse em maior amplitude vertical (HOLT, WAGENAAR *et al.*, 2003).

Sendo assim, o mínimo C na caminhada parece ser selecionado automaticamente visando à economia da locomoção. Isto significa que as mudanças na FP e no CP, devido à carga, poderia ser um fenômeno incidental para minimizar o gasto energético (ABE, YANAGAWA *et al.*, 2004). Outros autores sugerem que variações no CP e na FP estão mais relacionadas aos parâmetros antropométricos do que com a carga adicionada (WANG, PASCOE *et al.*, 2001).

Deste modo, está estabelecido que a economia energética é maior durante o transporte de carga simétrica (mochila) e deverá ser afetada desfavoravelmente pelo aumento da velocidade de locomoção, assim como na caminhada espontânea sem carga, que em velocidades acima da $V_{ótima}$ ocorre um aumento do C (BASTIEN, WILLEMS *et al.*, 2005; ABE, MURAKI *et al.*, 2008).

Entretanto, observa-se, uma dificuldade na padronização metodológica para estimar o C e o W_{mec} realizado pelo corpo humano nestas situações. Deste modo aumenta a complexidade para comparar e compreender os resultados apresentados por diferentes autores para o mesmo movimento ou alterações decorrentes de diversas velocidades deste.

Ao mesmo tempo, os efeitos da variação do peso da carga e da sua posição sobre o fenômeno da economia energética em função da velocidade da caminhada não têm sido totalmente estudado. Também é aceito que, durante situações de locomoção de pouca eficiência mecânica, como na situação de velocidades abaixo da $V_{ótima}$ e durante inclinações extremas, são geradas situações de instabilidade de locomoção e, provavelmente, maiores co-contrações musculares, principalmente, dos músculos posturais com uma contribuição importante para o alto C da locomoção (PEYRÉ TARTARUGA, 2008).

Sendo assim, é possível observar que a bibliografia existente tem se dedicado a estudar de forma independente a locomoção na inclinação ou a locomoção com carga no plano, permitindo compreender os fatores que afetam o C da caminhada.

A literatura indica que o transporte de cargas de diferentes magnitudes realizado de forma simétrica ou assimétrica causa alterações na mecânica e

energética da locomoção humana. Alguns ajustes podem facilitar o transporte de cargas e minimizar o C , como, por exemplo, melhorando a distribuição da carga (simetria) e mantendo-a próxima do CM. Contudo algumas populações desempenham adaptações fisiológicas devido a restrições do ambiente (no caso das mulheres africanas e dos carregadores nepaleses) e se especializam em transportar cargas de modo mais eficiente.

Intrigantemente numerosos estudos afirmam que a velocidade de eficiência máxima da caminhada no plano é similar em situações com e sem carga, de modo que no plano existe uma $V_{\text{ótima}}$ independente da carga, faltando comparar o comportamento da $V_{\text{ótima}}$ durante o transporte de carga na inclinação.

Deste modo, e excetuando os trabalhos dos carregadores nepaleses (por ser uma população especialmente adaptada à carga e à altitude), há uma ausência de estudos que analisem o efeito da inclinação do terreno sobre o C da caminhada humana com carga, e como esses fatores (inclinação e carga de forma conjunta) afetam a $V_{\text{ótima}}$ de caminhada. Ao mesmo tempo, informações sobre a mecânica e energética da locomoção com carga e na inclinação deverão auxiliar na melhor compreensão do mecanismo pendular atuante na caminhada, assim como nos fatores limitantes deste modelo.

3. MATERIAIS E METODOS

3.1. Definição das Variáveis

3.1.1. Variáveis Dependentes

- Trabalho Mecânico Externo - W_{ext}

O W_{ext} é o trabalho realizado para elevar e acelerar o CM em relação ao ambiente externo. A unidade é em $J.kg^{-1}.m^{-1}$ (CAVAGNA, SAIBENE *et al.*, 1963; SAIBENE e MINETTI, 2003).

- Trabalho Mecânico Interno – W_{int}

O W_{int} é o trabalho realizado para acelerar os segmentos em relação ao CM. A unidade é em $J.kg^{-1}.m^{-1}$ (CAVAGNA, SAIBENE *et al.*, 1963; SAIBENE e MINETTI, 2003).

- Trabalho Mecânico Total – W_{tot}

O W_{tot} é somatório dos módulos do trabalho mecânico externo e interno. No presente estudo, o trabalho interno foi considerado aceitando transferência de energia mecânica entre segmentos de mesmos membros. A unidade é em $J.kg^{-1}.m^{-1}$ (CAVAGNA, SAIBENE *et al.*, 1963; SAIBENE e MINETTI, 2003).

- Comprimento da Passada – CP

É definido como distancia horizontal percorrida ao realizar uma passada. A unidade é m (TARTARUGA, 2008).

- Frequência da Passada – FP

É o número de passadas realizadas por segundo. A unidade é Hz (MINETTI, 1995).

- Recovery - R

O R é definido como o percentual de transferência entre EK e EP gravitacional do CM durante um ciclo de passada (CAVAGNA e KANEKO, 1977).

- Transdução Pendular durante o passo- R_{int}

O R_{int} é definido como a integral da transdução pendular acumulada entre EK e a EP durante um passo (CAVAGNA, WILLEMS *et al.*, 2002).

- Percentual de Congruência - %*Cong*

O %*Cong* é calculado como a soma das porções do ciclo durante o qual a EP e a EK mudam no mesmo sentido, dividido pelo tempo do ciclo e multiplicado por 100 (AHN, FURROW *et al.*, 2004; HALLEMANS, AERTS *et al.*, 2004; WILSON, 2010).

- Custo de Transporte - C

O C é definido como o dispêndio energético (VO_2) realizado para percorrer determinada distância dividida pela massa corporal, subtraído pelo valor de repouso em pé. A unidade é $J.kg^{-1}.m^{-1}$ (SAIBENE e MINETTI, 2003).

- Eficiência de Locomoção – Eff

A Eff de locomoção é definida como fração da P_{met} que é transformada em W_{mec} , durante uma passada (CAVAGNA e KANEKO, 1977).

- Velocidade ótima de locomoção - $V_{ótima}$

A $V_{ótima}$ é definida como a velocidade de caminhada na qual acontece o menor dispêndio energético da locomoção. A unidade é em $J.kg^{-1}.m^{-1}$ (SAIBENE e MINETTI, 2003; ABE, MURAKI *et al.*, 2008).

3.1.2. Variáveis Independentes

- Carga

A determinação da massa da carga que foi transportada na mochila como 25% da massa corporal, foi realizada em concordância com as cargas usualmente utilizadas nos esportes de caminhada na montanha (*trekking*) e as reportadas em outros estudos prévios (BOBET e NORMAN, 1984; BASTIEN, WILLEMS *et al.*, 2005; FOISSAC, MILLET *et al.*, 2009).

– A caminhada com Carga foi realizada em duas situações:

- i) apenas a massa corporal e,
- ii) massa corporal + 25% da massa corporal.

- Planos

A determinação dos planos de caminhada foi realizada como o quociente entre a variação vertical e a variação horizontal da esteira, vezes 100, para obter o valor em percentual. Neste estudo, as inclinações avaliadas foram de +7% e +15% (MINETTI, ARDIGÒ *et al.*, 1993).

– A caminhada nos Planos foi realizada em três situações:

- i) 0%;
- ii) + 7% e
- iii) +15%.

- Velocidades

Para a determinação das velocidades na inclinação foi construído um algoritmo no programa computacional *LabVIEW 7.5*, tendo como dados de entrada os C's de caminhada com carga no plano, do estudo de Bastien, Willems *et al.*, (2005). Foi adotada uma equação de otimização a fim de encontrar as velocidades onde a P_{met} seria igual para dada inclinação e carga (também denominada de equação de iso-potência, para maiores detalhes, ver ARDIGÒ, SAIBENE *et al.*, 2003). O objetivo desse cálculo foi parear o consumo de oxigênio dos sujeitos caminhando no plano, com o consumo de oxigênio durante a caminhada na inclinação.

Uma vez determinadas as velocidades relativas de caminhada através do cálculo a iso-potência, foi escolhida a velocidade autoselecionada (VAS) para cada plano (0%, 7% e 15%), e, posteriormente, foram determinadas duas velocidades abaixo da VAS a saber, -1 AVAS (que era 1 km.h^{-1} menor que a VAS) e -2 AVAS (que era 2 km.h^{-1} menor que a VAS) e também foram determinadas duas velocidades acima da VAS a saber, +1 AVAS (que era 1 km.h^{-1} maior que a VAS) e +2 AVAS (que era 2 km.h^{-1} maior que a VAS).

– As caminhadas foram realizadas em cinco velocidades:

i)	-2 AVAS	= a 1 km.h ⁻¹ de velocidade para 7% e 15% de inclinação. = a 2 km.h ⁻¹ de velocidade para o plano.
ii)	-1 AVAS	= a 2 km.h ⁻¹ de velocidade para 7% e 15% de inclinação. = a 3 km.h ⁻¹ de velocidade para o plano.
iii)	VAS	= a 3 km.h ⁻¹ de velocidade para 7% e 15% de inclinação. = a 4 km.h ⁻¹ de velocidade para o plano.
iv)	+1 AVAS	= a 4 km.h ⁻¹ de velocidade para 7% e 15% de inclinação. = a 5 km.h ⁻¹ de velocidade para o plano.
v)	+2 AVAS	= a 5 km.h ⁻¹ de velocidade para 7% e 15% de inclinação. = a 6 km.h ⁻¹ de velocidade para o plano.

3.1.3. Variáveis Intervenientes

- Temperatura do ambiente,
- Umidade relativa do ar,
- Padrão de caminhada do indivíduo,
- Estratégias tônicas e fásicas.

3.2. Delineamento da Pesquisa

O presente estudo é caracterizado como *ex post facto*, quantitativo, transversal e comparativo (CAMPBELL e STANLEY, 1979). A coleta de dados foi realizada no Laboratório de Pesquisa do Exercício (LAPEX) da Escola de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Todos os participantes foram informados a respeito dos procedimentos da pesquisa e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido informado (TCLE) (ANEXO B).

3.3. Amostra

A amostra foi constituída por 10 homens jovens voluntários, com idade entre 20 e 25 anos e fisicamente ativos. As características da amostra estão apresentadas na Tabela 1.

3.3.1. Cálculo do Tamanho da Amostra

O tamanho da amostra foi determinado através do cálculo amostral no programa *Winpipe*, onde foi adotado um nível de significância de 0,05 e um poder de 90%. O cálculo foi realizado para cada uma das variáveis dependentes, com base

nos estudos de Minetti *et al.*, (2002; 2006) e Àrdigo *et al.*, (2003) para o C (n=7); os estudos de Bastien *et al.*, (2005), Minetti *et al.*, (2003) e Abe *et al.*, (2008), para o cálculo da $V_{\text{ótima}}$ de caminhada (n=7); os trabalhos de Ahn *et al.*, (2004); para o cálculo do %Cong (n=7); para o R e o R_{int} (n=9) e (n=7) foram utilizados os trabalhos de Gottschall & Kram (2005) e de Cavagna *et al.*, (2002); finalmente os estudos de Minetti *et al.*, (1993; 2006) foram utilizados para a variável da Eff (n=8). Afinal foi adotado um n=10 de participantes para o presente estudo.

Tabela 1. Características da amostra apresentadas através da média e desvio-padrão.

Idade (anos)	Estatura (m)	Massa (kg)	Massa Mochila (kg)	CMI* (cm)
23,1 ± 2,92	1,78 ± 0,06	71,6 ± 6,05	17,9 ± 1,52	92,8 ± 4,03

*Comprimento de Membro Inferior.

3.3.2. Critérios de Inclusão

Como critério de inclusão os sujeitos deviam ser saudáveis, fisicamente ativos, com uma pontuação alta no questionário IPAQ versão resumida (atingindo um total mínimo de atividade física de pelo menos 1500 MET*min/semana; ver ANEXO C: Questionário Internacional de Atividade Física – IPAQ e Pontuação do IPAQ).

3.3.3. Critérios de Exclusão

Os seguintes critérios de exclusão foram realizados: históricos de lesões musculoesqueléticas, também histórico de doenças cardiovasculares ou respiratórias, igualmente, foram excluídos os indivíduos com uma pontuação baixa no questionário IPAQ versão resumida (abaixo de 1500 MET*min/semana), do mesmo modo, eram excluídos os indivíduos que tenham realizado exercício 24 horas antes da coleta, ou tenham ingerido bebida alcoólica 24 horas antes dos testes, ou ingerido bebida com estimulante 2 horas antes dos testes de caminhada (café, chimarrão, chá preto, coca-cola, etc.).

3.3.4. Procedimentos para seleção da amostra

Os sujeitos foram convidados a participar do estudo através de comunicação verbal e, atendendo aos critérios de inclusão, compareceram em datas e horários pré-estabelecidos.

Os selecionados compareceram ao LAPEX, para realização do Questionário Internacional de Atividade Física – IPAQ (ANEXO C), para preenchimento da ficha de dados pessoais (ANEXO D) e para ler e assinar o termo de consentimento livre e esclarecido (ANEXO B).

3.3.5. Considerações Éticas

Esta pesquisa atendeu a resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde a qual aprova as diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos e que assegura aos indivíduos quatro preceitos éticos básicos: a autonomia, para participar da pesquisa o indivíduo consentiu (ANEXO B) e liberdade para desistir a qualquer momento do estudo; a não maleficência, qualquer dano previsível foi evitado; a beneficência, ponderação de riscos e benefícios para o então comprometimento com o máximo de benefícios e o mínimo de danos e riscos; a justiça, a pesquisa apresenta relevância social e os indivíduos envolvidos tiveram igualdade na consideração de seus interesses. Todos os participantes da pesquisa assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido contendo informações pertinentes ao experimento e assegurando também sua privacidade.

O estudo está registrado com o número 2007990 no Comitê de Ética e Pesquisa da Pró-reitora da Pesquisa na UFRGS, aprovado em 09/12/2010, reunião n° 196 e ata n° 96 (ANEXO A).

3.4. Instrumentos de Pesquisa

3.4.1. Fichas de dados

Para a coleta de dados de caracterização da amostra foi utilizada uma ficha de dados individuais com o registro das informações referentes aos participantes, tais como: nome, idade, massa corporal, estatura, massa da mochila, comprimento do membro inferior e data (ANEXO D).

Para a coleta de dados e controle dos testes realizados, foi utilizada uma ficha de controle dos testes, na qual tinha os planos de caminhada (0%, 7% e 15%)

selecionados por sorteio, e a ordem das velocidades e das cargas, também escolhidos aleatoriamente (ANEXO E).

Para a gravação dos vídeos da coleta, era utilizada uma ficha de arquivos *Dvideow*, a qual tinha o protocolo, o tempo de gravação e a ordem dos testes que deveriam ser criados e gravados, todos eles seguindo o mesmo protocolo do dia escolhidos aleatoriamente (ANEXO F).

Para gravação dos dados do consumo de oxigênio foi utilizada a ficha de arquivos VO2000, que tinha o protocolo de gravação e a ordem dos testes que deveriam ser criados e gravados, todos eles seguindo o mesmo protocolo do dia escolhido aleatoriamente (ANEXO G).

Para registro da frequência cardíaca durante o protocolo dos testes de caminhada era utilizada a ficha frequência cardíaca, na qual foi registrada a FC de esforço, a FC de repouso de cada teste de caminhada, o qual era realizado seguindo o mesmo protocolo do dia escolhido aleatoriamente (ANEXO H).

Todas as fichas coincidiam na ordem de aleatoriedade dos testes, permitindo assim um controle da sequência que estava sendo efetuada nesse dia durante a coleta pelos indivíduos responsáveis de cada equipamento, evitando erros para posterior análise dos dados.

3.4.2. Balança eletrônica

Para determinação da massa corporal foi utilizada uma balança eletrônica, modelo PS - 180 da marca URANO, RS/Brasil, com carga máxima de 180 kg e resolução de 0,1kg.

3.4.3. Estadiômetro

Para determinação da estatura dos sujeitos foi utilizado um estadiômetro, constituído de uma parte fixa à parede, com cursor deslizante que mede a estatura do sujeito na posição de pé, e de costas para o cursor, com resolução de 1 milímetro (mm).

3.4.4. Esteira rolante

Foi utilizada uma esteira rolante da marca *BH fitness (Explorer ProAction)*, com velocidade máxima de 16 km.h⁻¹. A resolução da velocidade deste equipamento

é de $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. O erro relativo da velocidade da esteira rolante foi de $0,02\pm 0,01 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ para a situação do plano e de $0,03\pm 0,02 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ para as situações inclinadas. (APÊNDICE B).

Para a coleta dos testes de caminhada, o sujeito caminhava na esteira por 5 min para cada uma das 5 velocidades selecionadas por sorteio, na situação do plano e para cada inclinação (ver Desenho Experimental no item 3.5.6).

3.4.5. Cronômetros

Foram utilizados dois cronômetros da marca Casio, com resolução de décimo de segundo, para medir os períodos de tempo dos testes de caminhada (5 min cada um deles) e os períodos de repouso entre os mesmos (3 min de repouso entre as caminhadas).

3.4.6. Variáveis cardiorrespiratórias

3.4.6.1. Analisador de gases portátil

Para avaliação do consumo de oxigênio, tanto nos testes de esforço da caminhada como no repouso entre as mesmas, foi utilizado um analisador de gases portátil tipo caixa de mistura, modelo VO2000, da marca *MEDGRAPHICS MGC* (St. Paul, USA). Este foi acoplado a um pneumotacógrafo, com variação de 2 a $225 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ para fluxo baixo e médio. A taxa de amostragem coletada pelo equipamento é de 10 em 10 segundos. A fonte de alimentação utilizada foi uma fonte HAYAMA, modelo CH 1220 (Londrina, PR), e os dados foram transmitidos por conexão a um microcomputador via entrada USB.



Figura 5: Analisador de gases portátil tipo caixa de mistura, modelo VO2000 (*MEDGRAPHICS*).

3.4.6.2. Máscara

Para a coleta dos gases respiratórios foi utilizada uma máscara de neoprene por sujeito, a qual era acoplada ao pneumotacógrafo.

3.4.6.3. Sensor de batimentos cardíacos

Foi utilizado um frequencímetro da marca POLAR, modelo *VANTAGE XL*, para a verificação da FC dos sujeitos. A FC foi coletada durante os testes de caminhada na esteira rolante e durante o repouso dos sujeitos, como um dos indicadores para o início de um novo teste de caminhada (ver Protocolo da coleta de dados no item 3.5.4).

3.4.6.4. Microcomputador para transmissão de dados do VO₂

Os dados do consumo de oxigênio foram transmitidos para um computador portátil ACER *Travelmate 2201LCi*, com processador INTEL CELEROM D 330. O *software Aerograph* foi utilizado para essa coleta.

3.4.7. Variáveis Cinemáticas

3.4.7.1. Sistema de medição e análise dos movimentos

Os parâmetros cinemáticos foram adquiridos por meio da utilização de um procedimento de análise cinemática tridimensional.

Para esta análise, o sistema de vídeo utilizado para a coleta das imagens era composto de quatro câmeras de vídeo JVC GR-DVL 9800 (*JVC Company of New Jersey, USA*) (Figura 6). A taxa de amostragem das câmeras foi de 25 Hz (25 frames por segundo), tempo de abertura das câmeras (*shutter*) ajustado em 1/250. Foram utilizados quatro holofotes, cada um deles posicionados no tripé da câmera correspondente e direcionados para a esteira rolante permitindo a iluminação dos marcadores refletivos posicionados nos pontos anatômicos de interesse e do ambiente de coleta.

Para a realização das coletas foi utilizado o Sistema de aquisição de imagens *Dvideow (Digital Video for Biomechanics)* desenvolvido pelo Laboratório de Instrumentação para Biomecânica da Faculdade de Educação Física da UNICAMP, Campinas, Brasil versão 5.0), para aquisição dos dados de posição do movimento estudado.



Figura 6: Câmera de vídeo digital JVC GR-DVL 9800.

As quatro câmeras foram posicionadas em diferentes localizações do ambiente de coleta, duas a cada lado da esteira captando as imagens, de modo que ao longo da realização do movimento de caminhada, as duas câmeras capturavam todos os marcadores reflexivos, permitindo assim a posterior reconstrução espacial tridimensional das coordenadas de cada marcador reflexivo. A Figura 7 apresenta um desenho esquemático da posição das câmeras no ambiente de coleta.

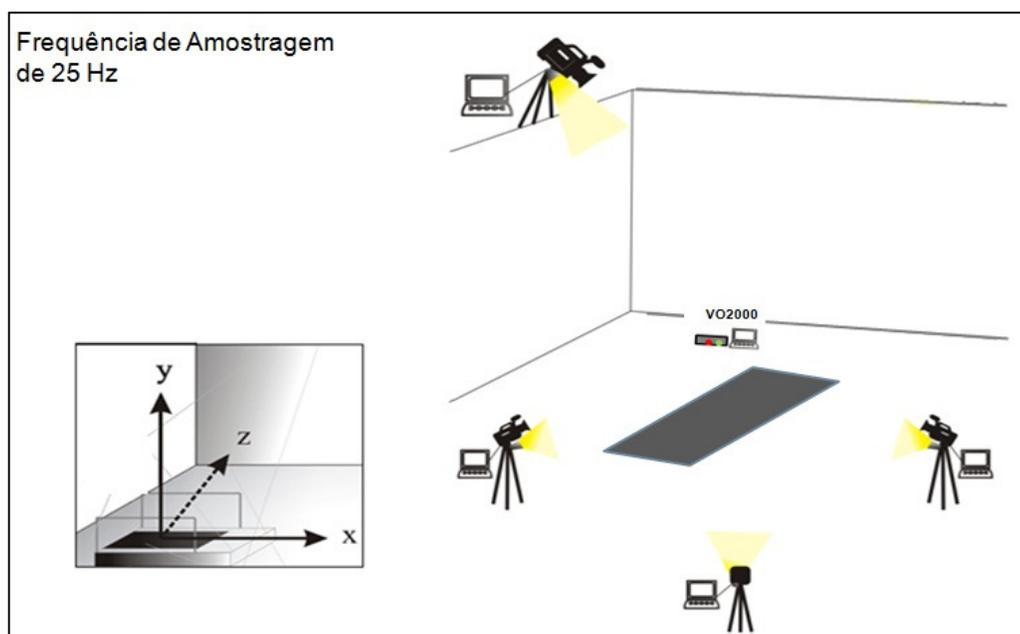


Figura 7: Desenho esquemático do posicionamento das câmeras e do analisador de gases no local de coleta.

Durante a aquisição das imagens, e para permitir a aquisição simultânea das imagens das quatro câmeras, estas foram conectadas a quatro computadores *notebooks*, e conectados entre si por uma *intranet*. Um computador portátil foi

denominado servidor, e esse computador foi o responsável pelo sinal de início para todos os demais computadores portáteis iniciaram ao mesmo tempo a aquisição das imagens de forma sincronizada. A figura 8 apresenta um exemplo da aquisição das imagens das quatro câmeras.

A partir das imagens, a reconstrução espacial tridimensional das coordenadas foi realizada pelo método DLT (*Direct Linear Transformation*) através da localização dos marcadores reflexivos posicionados nos locais anatômicos de referência.

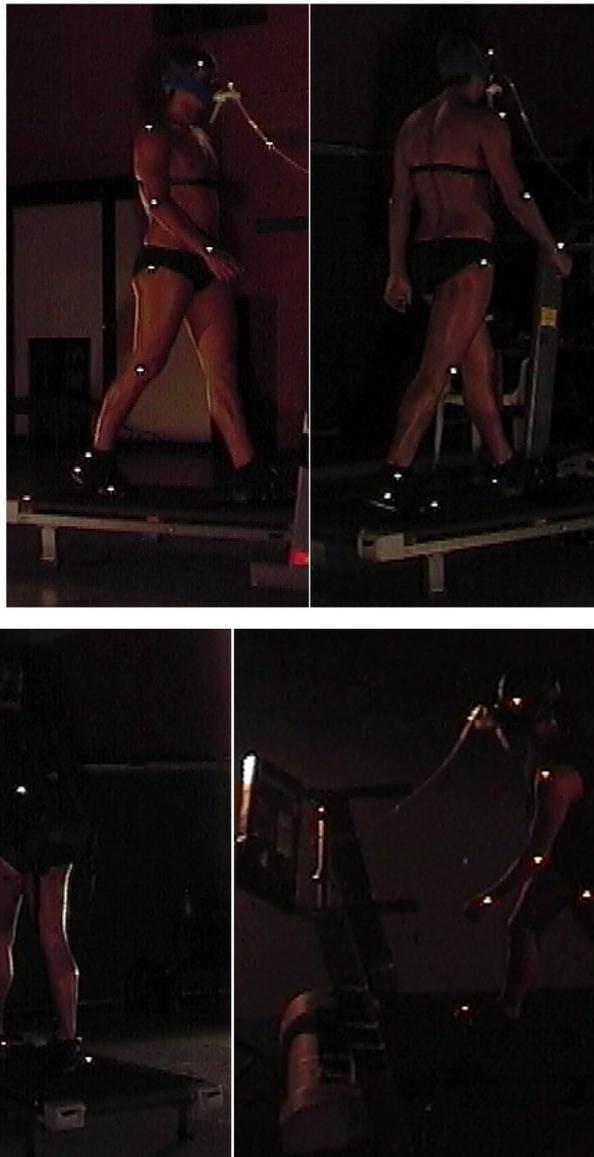


Figura 8: exemplo da aquisição das imagens das quatro câmeras posicionadas no local da coleta. Acima: lateral direito do sujeito caminhando sem carga no plano. Abaixo: lateral esquerdo do mesmo sujeito caminhando com carga.

3.4.7.2. Calibrador

Foi utilizado um calibrador tridimensional *Peak Performance* (*Peak Performance Technologies Inc., Englewood, USA*), com 25 pontos com referência espacial (Figura 9).

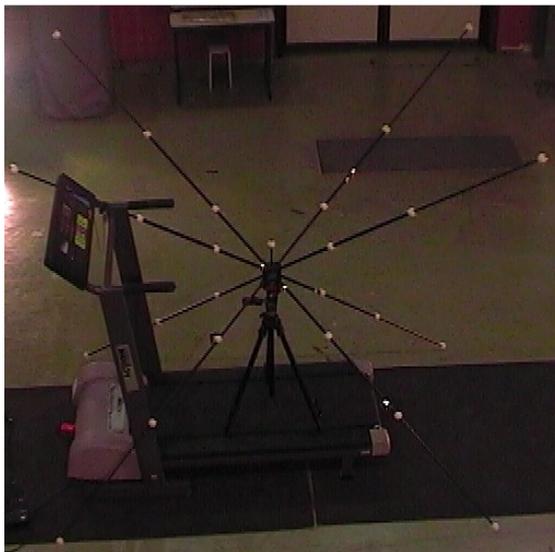


Figura 9: Imagem de coleta do calibrador tridimensional da marca *Peak Performance*.

3.4.7.3. Marcadores Reflexivos

Foram utilizados 20 marcadores reflexivos, com 14 mm de diâmetro, localizados em ambas laterais do corpo e nas regiões de interesse, 1º quinto metatarso, 2º calcâneo, 3º maléolo lateral, 4º côndilo lateral, 5º trocânter maior, 6º processo estilóide da ulna, 7º epicôndilo lateral, 8º a 4 cm ao lateral do acrômio, 9º fossa temporal (ZATSIORSKY, 1998), e também os 2 marcadores reflexivos da mochila (somando 20 marcadores reflexivos em total, no caso dos testes de caminhada com carga) (Figura 10). O posicionamento dos marcadores reflexivos da mochila (utilizado na determinação do CM total durante as caminhadas com carga), foi realizado seguindo o método do triângulo retângulo. Este método estabelece que o CM de um objeto com forma de triângulo retângulo (mochila com carga localizada na parte inferior da mesma) é localizado a $1/3$ da base e a $1/3$ da altura do objeto. A mochila utilizada neste estudo é de 48 cm de altura, e 25 cm de base, logo o centro de massa da mochila foi localizado na interseção entre essas duas medidas, a saber: a 8,2 cm da base ($1/3$ da base) e a 16 cm da altura ($1/3$ da altura).

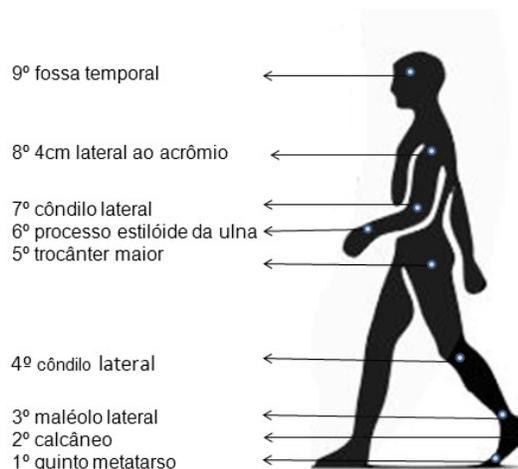


Figura 10. Desenho esquemático do posicionamento dos marcadores reflexivos nos pontos anatômicos de interesse.

3.4.7.4. Mochila

Para todos os testes de caminhada com carga, foi utilizada uma mochila com suporte rígido nas costas e com cinto no quadril, que proporcionava uma melhor e adequada posição da carga para que o sujeito conseguisse realizar os testes de caminhada.

3.5. Procedimentos para Aquisição de Dados

A coleta de dados aconteceu no Laboratório de Pesquisa do Exercício LAPEX-ESEF-UFRGS.

Todos os sujeitos compareceram ao LAPEX em três dias diferentes para a realização das coletas. Em cada dia de teste eram executadas as velocidades de caminhada de uma das inclinações (plano, ou 7% ou 15%) selecionada por sorteio. No segundo e no terceiro dia de coleta eram executados os protocolos dos testes faltantes, também selecionados por sorteio e com no mínimo de 48 horas de intervalo entre os mesmos para evitar possíveis efeitos de fadiga.

3.5.1. Calibração do analisador de gases

Para cada sessão de coleta, o analisador de gases foi ligado antes da mesma, e permaneceu assim por 30 min, para aquecimento e estabilização das células de análise de gases. Após esse período, duas autocalibrações foram realizadas em ambientes livres de altas concentrações de CO₂. Se as condições do

teste fossem alteradas durante o dia por qualquer razão (por exemplo, alterações consideráveis na temperatura ou falta de energia elétrica), o procedimento de calibração completo era repetido.

Os dados referentes ao indivíduo analisado (massa corporal, estatura, idade e sexo) foram registrados no equipamento. Também, no equipamento foi selecionado o tipo de fluxo a ser utilizado (baixo para a situação de repouso, e médio para a situação de exercício), de acordo com o pneumotacógrafo, o mesmo foi acoplado a um adaptador e este a uma máscara de neoprene, que foi ajustada para cada indivíduo, de modo a evitar qualquer escape de ar.

3.5.2. Protocolo para caracterização da amostra

Os indivíduos compareceram ao LAPEX em três dias diferentes e, em cada dia de coleta, realizaram as velocidades de caminhada correspondentes a uma inclinação, com 48 horas de intervalo de mínimo entre as coletas para evitar possíveis efeitos de fadiga, e com intervalo máximo de duas semanas entre as mesmas. A ordem dos testes foi determinada por sorteio.

No primeiro dia, os sujeitos preenchem o formulário de Avaliação da Atividade Física IPAQ resumido (Anexo C). Posteriormente, os sujeitos liam e assinavam o termo de consentimento livre e esclarecido (Anexo B) e após preenchem a ficha de dados pessoais (Anexo D). Era realizada a avaliação antropométrica para obter os dados de estatura (EST), da massa corporal (MC) dos sujeitos. Após saber a MC do sujeito, era calculado 25% da MC, que foi o percentual da massa transportada na mochila. Foi solicitado que o peso da mochila estivesse distribuído entre as cintas dos ombros e o suporte do quadril.

Logo após, foram colocados os 18 marcadores reflexivos (9 de cada lado do corpo) fixados com fita de silicone dupla face e colocados nos locais anatômicos de interesse.

Foi colocado um frequencímetro para a mensuração dos batimentos cardíacos dos sujeitos durante os períodos de exercício e nos períodos de repouso pré e repouso entre exercício. Logo eram explicados os possíveis desconfortos da utilização da máscara de neoprene.

3.5.3. Familiarização

Os indivíduos que foram submetidos ao teste ergoespirométrico em esteira rolante realizavam uma adaptação aos equipamentos antes do início do estudo, no qual eram explicados os possíveis desconfortos da utilização da máscara de neoprene para a coleta de oxigênio.

Realizavam 5 min de caminhada em esteira, para se adaptar à mesma ou à inclinação se for o caso, e também eram familiarizados com a mochila, devido ao posicionamento do peso da carga, o qual deveria ser distribuído entre as cintas dos ombros e o suporte do quadril.

3.5.4. Protocolo do Teste de Caminhada

O protocolo iniciava com a mensuração do VO_2 de repouso em pé durante 6 min sem carga e também durante 6 min com carga.

Posteriormente, o indivíduo realizava um aquecimento de 5 min na esteira rolante e, logo após, os testes de caminhada em estágios de 5 min em cada uma das velocidades de caminhada estabelecidas por sorteio.

Para a situação da caminhada no plano, os sujeitos caminharam 5 min em cada velocidade de caminhada denominadas +1AVAS, +2AVAS, VAS, -1AVAS e -2AVAS (correspondentes a: 2, 3, 4, 5, e 6 $km.h^{-1}$), com 3 min de descanso entre cada teste ou um período de intervalo de tempo superior para que o indivíduo atingisse 100 bpm (ROTSTEIN, INBAR *et al.*, 2005).

Para os testes correspondentes às caminhadas nas inclinações positivas de +7% e +15%, os sujeitos caminharam 5 min em cada uma das velocidades estabelecidas para as situações inclinadas denominadas +1AVAS, +2AVAS, VAS, -1AVAS e -2AVAS (correspondentes a: 1, 2, 3, 4 e 5 $km.h^{-1}$ obtidas pelo cálculo da isso potência), com 3 min de descanso entre cada teste ou um período de intervalo de tempo superior para que o indivíduo atingisse 100 bpm (ROTSTEIN, INBAR *et al.*, 2005).

Deste modo, os sujeitos realizaram 10 testes de caminhada por dia de coleta, dado que eram 5 velocidades de caminhada em cada situação, as quais deviam ser executadas com e sem carga.

Os registros de VO_2 eram realizados nos dois últimos min de cada teste, e durante o período de repouso entre testes (3 min de repouso).

Os registros cinemáticos eram realizados no último minuto de cada teste.

A ordem dos testes referente ao plano e às inclinações (+7% e +15) era alternada aleatoriamente para cada sujeito e as velocidades de caminhada em cada situação eram sorteadas antes do início de cada coleta, a fim de evitar os possíveis efeitos do aprendizado ou da fadiga (ver Tabela 2, Exemplo do Modelo Experimental).

3.5.5. Softwares Utilizados

- Winpepi® 1.45 (PEPI-for-Windows) da Abramson;
- Dvideow® 5.0 (Digital Vídeo for *Biomechanics* for Windows 32 bits) desenvolvido pelo laboratório de Instrumentação em Biomecânica – Faculdade de Educação Física da UNICAMP e no Instituto de Computação da UNICAMP;
- Matlab® 7.9 (MATrixLABoratory) da The MathWorks;
- LabView® 8.5 (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) da National Instruments;
- SPSS® 17.0 (Statistical Package for the Social Sciences) da IBM Company;
- End Note® X4 da Thomson Reuters;
- Corel Photo-Paint® X4 da Corel Corporation;
- Office Excel® e Word® versão 2010 da Microsoft Windows.

3.5.6. Desenho Experimental

A Tabela 2 abaixo apresenta o desenho experimental dos dias de coleta de dados para o protocolo dos testes de caminhada.

Tabela 2: Desenho experimental. Exemplo do desenho experimental dos testes realizados para cada sujeito ao longo dos três diferentes dias de coleta. (*) As inclinações para cada dia de testes, e a combinação de velocidades e cargas foram selecionadas por sorteio para cada indivíduo. Cada teste de caminhada consistia de uma duração de 5 min e antes de dar início ao seguinte teste, o indivíduo descansava no mínimo 3 min de descanso, ou o tempo necessário até que atingisse 100 bpm.

Dias	(*) Situação	Testes	Tempo de cada Teste	(*) Velocidades de caminhadas Com ou Sem Carga	Tempo Intervalo entre Testes
D I A 1	Caminhada No PLANO	1		-1AVAS sem carga (3 km.h ¹)	
		2	5	VAS com carga (4 km.h ¹)	3
		3	M	+1AVAS com carga (5 km.h ¹)	M
		4	I	-2AVAS sem carga (2 km.h ¹)	I
		5	N	-1AVAS com carga (3 km.h ¹)	N
		6	U	+1AVAS sem carga (5 km.h ¹)	U
		7	T	+2AVAS com carga (6 km.h ¹)	T
		8	O	-2AVAS com carga (2 km.h ¹)	O
		9	S	VAS sem carga (4 km.h ¹)	S
		10		+2AVAS sem carga (6 km.h ¹)	
>> Descanso mínimo de 48 horas entre testes <<					
D I A 2	Caminhada A 7% de Inclinação	1		VAS com carga (3 km.h ¹)	
		2	5	-2AVAS com carga (1 km.h ¹)	3
		3	M	+2AVAS sem carga (5 km.h ¹)	M
		4	I	-1AVAS sem carga (2 km.h ¹)	I
		5	N	+1AVAS com carga (4 km.h ¹)	N
		6	U	+2AVAS com carga (5 km.h ¹)	U
		7	T	VAS sem carga (3 km.h ¹)	T
		8	O	-2AVAS sem carga (1 km.h ¹)	O
		9	S	-1AVAS com carga (2 km.h ¹)	S
		10		+1AVAS sem carga (4 km.h ¹)	
>> Descanso mínimo de 48 horas entre testes <<					
D I A 3	Caminhada A 15% de Inclinação	1		-1AVAS com carga (2 km.h ¹)	
		2	5	+2AVAS com carga (5 km.h ¹)	3
		3	M	VAS sem carga (3 km.h ¹)	M
		4	I	+1AVAS sem carga (4 km.h ¹)	I
		5	N	+1AVAS com carga (4 km.h ¹)	N
		6	U	VAS com carga (3 km.h ¹)	U
		7	T	-2AVAS sem carga (1 km.h ¹)	T
		8	O	+2AVAS sem carga (5 km.h ¹)	O
		9	S	-2AVAS com carga (1 km.h ¹)	S
		10		-1AVAS sem carga (2 km.h ¹)	

3.6. Tratamento dos Dados

3.6.1. Análise dos parâmetros metabólicos

A taxa de amostragem para análise do VO_2 é de um ponto a cada 10 s.

Para o repouso, foi utilizada a média dos 3 últimos min da coleta do VO_2 , coletados como repouso em pé sem carga e com carga antes do início de cada coleta. Para o exercício, foi utilizada a média dos valores do VO_2 dos 2 últimos min de cada teste de caminhada, os quais eram os correspondentes ao 4º e 5º de cada teste de caminhada.

3.6.2. Parâmetros Cinemáticos

As imagens de vídeo foram digitalizadas com o programa Dvideow (*Digital Video for Biomechanics* desenvolvido pelo Laboratório de Instrumentação para Biomecânica da Faculdade de Educação Física da UNICAMP, Campinas, Brasil versão 5.0). Para obtenção de imagens simultâneas os quatro computadores foram conectados em rede por meio de uma intranet, permitindo esse sincronismo na aquisição das imagens.

Das imagens, foram digitalizados nove (ou dez marcadores, para as caminhadas com carga transportada na mochila) marcadores reflexivos de cada lado do corpo (18 ou 20 marcadores no total) e na mochila do sujeito.

Cada marcador reflexivo foi filmado por duas câmeras de cada lado do corpo para a posterior reconstrução espacial tridimensional das coordenadas.

Após a filmagem da caminhada com frequência da amostragem de 25 Hz, foi realizado o desentrelaçamento das imagens para 50 Hz, taxa de amostragem considerada adequada para análise do movimento de caminhada humana (Barros *et al.*, 1999). Logo, foram digitalizados 15 ciclos de passada em cada um dos 1.200 vídeos de caminhada, e desta forma foi possível identificar a posição de cada marcador reflexivo em cada quadro filmado. Os marcadores reflexivos colocados sobre pontos anatômicos permitiram a identificação das coordenadas espaciais, as quais eram fornecidas em pixels, unidade adimensional da tela do monitor.

Para realizar a descrição do movimento no espaço foi utilizado o sistema de coordenada global, ou seja, as coordenadas do ambiente da coleta (calibrador tridimensional – 3D). O calibrador 3D foi posicionado de maneira que durante a

filmagem da caminhada, o eixo 'x' era o ântero posterior, o eixo 'y' era o ínfero superior e o eixo 'z' era o médio lateral em relação ao corpo.

Foi realizada a reconstrução 3D das coordenadas anteriormente digitalizadas e com este procedimento ocorreu a reconversão das coordenadas adimensionais em coordenadas métricas pelo método DLT (*Direct Linear Transformation*). Foi realizado o cálculo da acurácia do sistema 3D, e os resultados obtidos foram: acurácia de 10,3 mm, bias de 4,8 mm, precisão de 9mm e a acurácia relativa à dimensão medida foi de 1,01% (APÊNDICE C).

3.6.3. Análise do Trabalho Mecânico

Uma vez reconstruídos tridimensionalmente cada vídeo do teste de caminhada, os dados cinemáticos foram inseridos na rotina para análise de dados cinemáticos construída no *software Matlab®* (versão 7.8) (APÊNDICE A), a qual utilizou uma frequência de amostragem de 50 Hz, com um filtro digital passa-baixa do tipo *Butterworth* com frequência de corte variando entre 3 e 9 Hz determinados para cada velocidade de caminhada através do procedimento de análise residual de Winter (2005).

Antes de calcular o trabalho mecânico, foi necessário obter as variações das energias mecânicas do CM. Assim, foi calculado o CM corporal como o somatório dos centros de massa segmentares, e divididos pela MC segundo Zatsiorsky (1998). Os dados de posição e massa de cada segmento, foram obtidos das tabelas antropométricas de Zatsiorsky (1998).

Do mesmo modo, o centro de massa da mochila foi matematicamente localizado na rotina para o processamento de dados cinemáticos em Matlab, sendo estabelecido 10 cm para acima do CM corporal e 10 cm para trás do mesmo. O objetivo deste proceso foi normalizar o centro de massa da mochila em relação ao CM corporal de cada individuo, além de evitar possíveis erros na determinação do centro de massa da mochila utilizando a carga, devido às diferentes massas das cargas transportadas pelos individuos deste estudo. Assim, durante as caminhadas com cargas, foi subtraído o 25% da massa de cada segmento, e este 25% foi inserido na massa da mochila, a qual entrava no cálculo do CM total durante as caminhadas com carga.

Para descrever as mudanças de energia cinética dos segmentos, cujos movimentos não alteram a posição do CM total, foi utilizado o teorema de König. Os

dados foram valores referentes a um sistema de coordenadas 3D onde o ponto de referência para o cálculo das velocidades relativas dos segmentos é o CM obtido pela posição de 12 segmentos. Além disso, a EK rotacional e translacional foi somada, assumindo a transferência de energia entre os segmentos dos mesmos membros corporais (MINETTI, ARDIGÒ *et al.*, 1993; WILLEMS, CAVAGNA *et al.*, 1995).

Este método de análise considera as mudanças de energia do CM de todo o corpo relativo ao ambiente e as mudanças de energia dos segmentos em relação ao CM, as quais são denominadas trabalho externo (W_{ext}) e trabalho interno (W_{int}), respectivamente, para o qual foi necessário calcular as energias mecânicas do CM em primeiro lugar.

- Energia Potencial:

A energia potencial (EP) do CM foi calculada a partir do produto da massa corporal, aceleração da gravidade e altura do CM (equação 1).

$$EP_{(t)} = MC g h_{(t)} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde MC é a massa corporal, g é a aceleração da gravidade e $h_{(t)}$ é a altura do CM.

- Energia Cinética:

A energia cinética (EK) foi calculada a partir da derivação matemática dos dados 3D da posição, e foi obtida a velocidade horizontal (EK_f), a velocidade vertical (EK_v) e a velocidade lateral (EK_l) do CM (equação 3).

$$EK_{(t)} = EK_{f(t)} + EK_{v(t)} + EK_{l(t)} \quad \text{Eq. 2}$$

Após, a EK total foi calculada utilizando a massa corporal e a velocidade do CM (equação 2).

$$EK_{l,f,v}(t) = 0,5 MC v_{(t)}^2 \quad \text{Eq. 3}$$

Onde M é a massa e v é a velocidade ao quadrado do CM.

- Energia mecânica total do CM:

A energia mecânica total do CM (E_{tot}) foi calculada a partir do somatório das variações das EP e EK no tempo (WILLEMS, CAVAGNA *et al.*, 1995) (equação 4).

$$E_{tot(t)} = EP_{(t)} + EK_{(t)} \quad \text{Eq. 4}$$

- Trabalho Mecânico Externo

Logo, o trabalho mecânico externo (W_{ext}) ou o trabalho para elevar e acelerar o CM em relação ao ambiente externo foi a soma dos incrementos positivos de energia total (E_{tot}) (equação 5).

$$W_{ext} = \Delta E_{tot} \quad \text{Eq. 5}$$

- Trabalho Mecânico Interno

O trabalho mecânico interno (W_{int}) ou o trabalho para elevar e acelerar o CM segmentares em relação ao CM corporal foi determinado utilizando a equação de Cavagna e Kaneko, (1977) e Willems *et al.* (1995) (equação 6).

$$W_{int} = \sum 0,5m_i v_i^2 + 0,5m_i K \omega_i^2 \quad \text{Eq. 6}$$

Onde m_i é massa do segmento i (em quilogramas), v_i é velocidade relativa do centro de massa do segmento i em relação ao CM (em metros por segundo), K_i é o raio de giração do centro de massa do segmento i (em metros) e ω_i é a velocidade angular do centro de massa do segmento i (em radianos por segundo). Os dados de massa dos segmentos e raio de giração foram adquiridos das tabelas antropométricas de Zatsiorsky (1998) por serem estas similares às características da amostra (indivíduos vivos, fisicamente ativos e jovens).

- Trabalho Mecânico Total

O W_{tot} necessário para sustentar a locomoção comporta o somatório dos incrementos positivos do W_{int} , e o somatório dos incrementos positivos de W_{ext} , (CAVAGNA e KANEKO, 1977) (equação 7).

$$W_{tot} = |W_{ext}| + |W_{int}| \quad \text{Eq. 7}$$

3.6.4. Análise do Comprimento da Passada

O comprimento de passada (CP) foi calculado como a velocidade horizontal da esteira dividido pelo tempo gasto para realizar uma passada (Equação 8).

$$CP = \frac{v}{t} \quad \text{Eq.8}$$

Onde v é a velocidade horizontal da esteira em m s^{-1} e t é o tempo em segundos. CP em metros.

3.6.5. Análise da Frequência da Passada

A determinação da frequência de passada (FP) foi realizada pela divisão do CP de uma passada pelo período de tempo em segundos (Equação 9).

$$FP = \frac{1}{t} \quad \text{Eq. 9}$$

Onde 1 representa CP de uma passada, e t é o período de tempo. A FP é dada em Hz.

3.6.6. Análise do Custo de Transporte

O C foi adquirido a partir dos dados do consumo de oxigênio relativo em exercício (VO_2) subtraído pelo consumo de oxigênio relativo em repouso em pé (VO_2), assim foi obtido o valor da inicial P_{met} (P_{met} em $\text{ml.O}_2.\text{kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) do exercício (Equação 10).

$$P_{met} = VO_{2exc} - VO_{2rep} \quad \text{Eq. 10}$$

Posteriormente, para obter o C, foi transformada a unidade de tempo da P_{met} para a unidade em $\text{ml.O}_2.\text{kg}^{-1}.\text{s}^{-1}$. Assim, foi realizada a divisão da P_{met} pela velocidade de caminhada em m.s^{-1} , e logo é multiplicado pelo equivalente do Quociente Respiratório de 20,1 J.ml^{-1} e, em fim dá por resultado o valor em $\text{J.kg}^{-1}.\text{s}^{-1}$ (COOKE, 1996; SAIBENE e MINETTI, 2003) (Equação 11).

$$C = \frac{P_{met}}{v} \quad \text{Eq. 11}$$

Onde P_{met} é a potência metabólica convertida para a unidade de $\text{J.kg}^{-1}.\text{s}^{-1}$ durante o exercício, e v é a velocidade de caminhada (m s^{-1}) para percorrer uma distancia determinada. Deste modo, o C tem o valor em $\text{J.kg}^{-1}.\text{m}^{-1}$ (COOKE, 1996; SAIBENE e MINETTI, 2003).

3.6.7. Análise do *Recovery*

O percentual de intercâmbio das energias mecânicas do CM (EK e EP) acontece em oposição de fase como foi descrito por Cavagna (1976). O R quantifica o percentual de energia que pode ser salva em um sistema em movimento como em um pêndulo. Ele reflete a eficiência do mecanismo pendular (equação 12).

$$R(\%) = 100 \frac{W_{\text{ext},f} + W_{\text{ext},v} - W_{\text{ext}}}{W_{\text{ext},f} + W_{\text{ext},v}} \quad \text{Eq. 12}$$

Onde $W_{\text{ext},f}$ é trabalho mecânico externo horizontal, $W_{\text{ext},v}$ é trabalho mecânico externo vertical e W_{ext} é trabalho mecânico externo.

3.6.8. Análise da Transdução Pendular – R_{int}

O $R_{\text{int}}(t)$ foi calculado a partir do valor absoluto do tempo derivado de EP, EK e E_{tot} no intervalo de tempo contido entre dois ou mais picos (ou vales) das curvas da EP. O valor cumulativo de energia recuperada, $R_{\text{int}}(t)$, resultando da transdução instantânea de EK-EP, foi determinado na área abaixo do $r(t)$ registrado, dividida pelo período do passo (CAVAGNA, WILLEMS *et al.*, 2002) (Equação 13).

$$R_{\text{int}}(t) = \left(\int_0^r r(u) du \right) / T \quad \text{Eq. 13}$$

Onde: r é o *recovery* instantâneo, u é instante de tempo du é derivada do tempo, T é o período do passo.

3.6.9. Análise da Eficiência

O percentual de eficiência é a razão entre a potência mecânica gerada e a P_{met} consumida (equação 14).

$$Eff(\%) = \frac{\dot{W}}{P_{met}} \quad \text{Eq. 14}$$

Onde \dot{W} é a potência mecânica total e P_{met} é a potência metabólica.

3.6.10. Análise do Percentual de Congruência

O percentual de Congruência (%Cong) foi calculado como a soma das porções do ciclo durante o qual, as EP e a EK mudam no mesmo sentido (e o produto das mudanças das taxas de energia é maior do que zero), dividido pelo tempo do ciclo e multiplicado por 100, segundo (CAVAGNA e KANEKO, 1977; AHN, FURROW *et al.*, 2004, BISHOP, 2008); (equação 15).

$$\%Congr = \frac{d(EP)}{dt} \cdot \frac{d(EK)}{dt} \cdot 100 \quad \text{Eq. 15}$$

Onde $d(EP)/dt$ é a derivada com relação ao tempo da energia potencial, $d(EK)/dt$ é a derivada com relação ao tempo da energia cinética.

3.6.11. Análise da Velocidade Ótima

A $V_{ótima}$ foi considerada como a velocidade de caminhada na qual ocorre o mínimo C por unidade de distância percorrida (SAIBENE e MINETTI, 2003; ABE, MURAKI *et al.*, 2008).

Para o cálculo matemático da $V_{ótima}$ foi utilizada a última expressão da equação de Abe e colaboradores, 2008 (Equação 16 deste trabalho).

Deste modo, foi descrito que a relação entre velocidade de caminhada e C pode-se aproximar a uma curva em forma de U de uma equação quadrática, significando que existe uma velocidade de caminhada específica que corresponde com o menor C por unidade de distância percorrida. A relação entre a velocidade de caminhada e o C pode ser matematicamente descrita, e assim a $V_{ótima}$ foi determinada como a velocidade em que o C é igual a zero, equação observada a seguir:

$$V_{ótima} = \frac{-b}{2a} \quad \text{Eq. 16}$$

Onde: $-b$ é a velocidade de caminhada, e $2a$ é um valor constante determinado pelo método de mínimos quadrados observado no custo de cada uma das velocidades de caminhada. A velocidade mais econômica ou ótima é aquela na qual o resultado dessa equação se iguala a zero.

3.7. Tratamento Estatístico

A partir dos dados coletados e tabulados, foram realizados os testes estatísticos para observar se houve efeito da carga, da velocidade e da inclinação ou interação entre elas sobre os parâmetros mecânicos e energéticos da caminhada.

Para caracterizar os dados coletados foi utilizada estatística descritiva através da média e desvio padrão. A normalidade das variáveis dependentes foi verificada através do teste de *Shapiro-Wilk* e de homogeneidade das variâncias de *Levene*.

Para comparar as variáveis mecânicas e energéticas foi utilizado o teste de ANOVA de três fatores para medidas repetidas para comparar as variáveis e determinar a interação entre os fatores: planos (0%, 7% e 15% de inclinação), carga (duas situações de cargas: massa corporal e massa corporal + 25% da massa corporal), e velocidades de caminhada (VAS, +1AVAS, +2AVAS, -1AVAS e -2AVAS) (FIELD, 2009).

Quando houve interação entre as variáveis independentes velocidades e planos (0%, 7% e 15%), foi realizado o desdobramento da variável independente (Velocidades ou Planos) para determinar qual delas exercia o efeito principal, utilizando ANOVA para medidas repetidas de um fator. Quando houve interação da variável Carga, foi realizado o teste T pareado para comparação da situação com carga (CC) com a situação sem carga (SC).

Foi utilizado o teste complementar de *Bonferroni* tanto para o teste ANOVA de três fatores, como para o desdobramento por fator. O índice de significância adotado neste estudo foi de $\alpha=0,05$.

Todos os testes estatísticos foram realizados no programa estatístico *SPSS* (*Statistical Package for Social Sciencs*) versão 17.0.

4. RESULTADOS

Visando uma melhor compreensão, os resultados foram divididos na seguinte forma: mecânica da caminhada, energética da caminhada e mecanismo pendular.

4.1. Mecânica da Caminhada

Comportamento do trabalho mecânico externo - W_{ext}

O comportamento do trabalho mecânico corporal foi comparado separadamente em cada um de seus componentes, W_{ext} , W_{int} e o W_{tot} .

O comportamento do W_{ext} foi comparado entre os diferentes planos (0%, 7% e 15%), as diferentes situações da carga (CC e SC) e nas diferentes velocidades de caminhada (VAS, +1AVAS, +2AVAS, -1AVAS e -2AVAS). Os efeitos principais sobre W_{ext} nas diferentes situações é apresentado na tabela 3.

Tabela 3. Análise da variância dos efeitos principais dos fatores Planos, Cargas e Velocidades, e da Interação Planos*Cargas, Planos*Velocidades, Cargas*Velocidades e Planos*Cargas*Velocidades no W_{ext} . Média e erros padrão W_{ext} nas diferentes situações. W_{ext} apresentado em $J.kg^{-1}.m^{-1}$. * Indica que houve interação significativa entre os fatores.

Fator	Situação	$W_{ext} (J.kg^{-1}.m^{-1})$		Sig.
		Média	EP	
Planos	0%	0,63	±0,03	<0,001
	7%	1,05	±0,03	
	15%	1,77	±0,02	
Cargas	CC	1,11	±0,02	<0,001
	SC	1,19	±0,02	
Velocidades	-2AVAS	1,04	±0,02	<0,001
	-1AVAS	1,10	±0,02	
	VAS	1,13	±0,02	
	+1AVAS	1,18	±0,02	
	+2AVAS	1,30	±0,03	
Planos*Cargas				0,614
Planos*Velocidades				<0,001*
Cargas*Velocidades				0,076
Planos*Cargas*Velocidades				0,116

Esses resultados da tabela 3 demonstram que os fatores: Planos, Cargas e Velocidades, influenciaram significativamente o W_{ext} ($p < 0,001$), mas, como houve interação Planos*Velocidades foram realizados os desdobramentos para testar novamente esses fatores principais no W_{ext} .

Para determinar se o W_{ext} CC e SC nos diferentes planos tiveram o mesmo comportamento em todas as velocidades, foi realizado o teste T pareado, os resultados podem ser observados na Figura 11. Deste modo, os resultados do W_{ext} durante a situação SC sempre foi maior que durante a situação CC (Figura 11), no entanto, somente foi significativo nas maiores velocidades do plano +1AVAS ($p=0,027$) e +2AVAS ($p=0,006$), e também nas maiores velocidades dos 7% de inclinação +1AVAS ($p=0,012$) e +2AVAS ($p=0,003$).

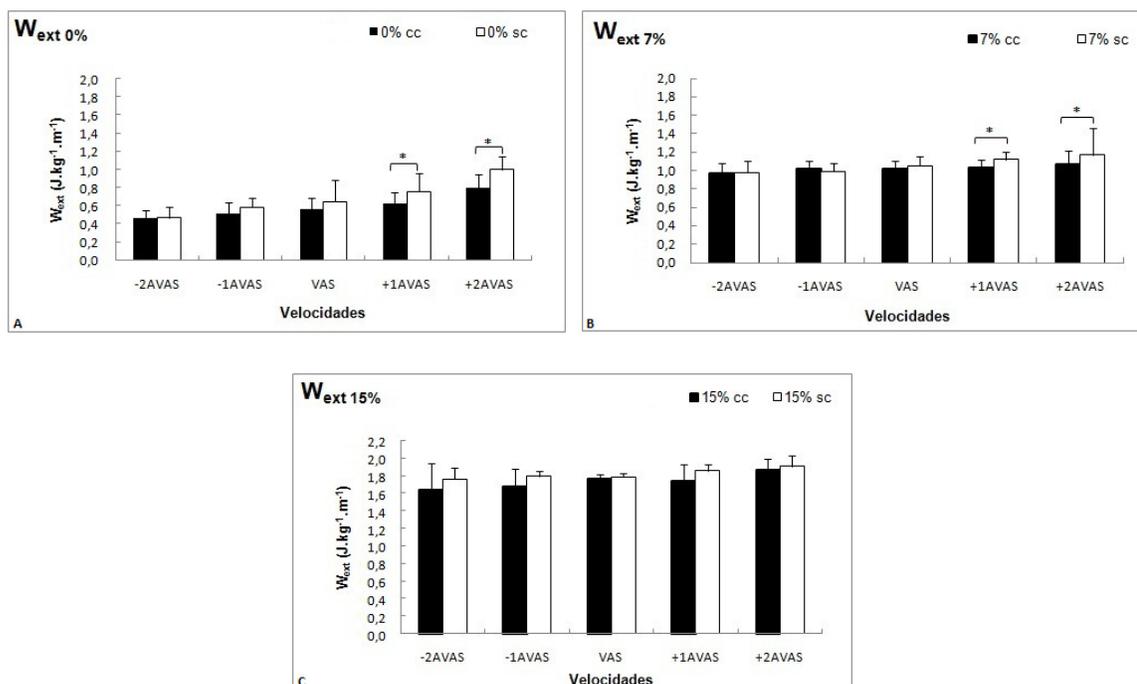


Figura 11. (A) Comportamento do W_{ext} durante a situação do plano (0%) CC e SC, **(B)** W_{ext} a 7% de inclinação CC e SC, **(C)** W_{ext} nos 15% de inclinação CC e SC. * representa diferenças estatisticamente significativas entre as cargas ($p<0,05$).

O resultado do desdobramento avaliando os fatores velocidades e planos são observados na Figura 12.

O resultado do desdobramento por velocidade (Figura 12, letras minúsculas) demonstra que o W_{ext} não teve o mesmo comportamento em todas as velocidades. O W_{ext} CC apresentou diferenças significativas entre as velocidades de caminhada somente no plano ($p<0,001$). Na situação sem carga, o W_{ext} teve um aumento significativo em todas as velocidades de caminhada tanto no plano ($p<0,001$), como nas inclinações de 7% ($p<0,001$) e 15% ($p=0,020$), indicando que nestas situações o W_{ext} aumenta significativamente com o aumento da velocidade de caminhada.

O resultado do desdobramento por planos (Figura 12, letras maiúsculas) demonstra que o W_{ext} é influenciado significativamente pelo plano de caminhada ($p < 0,001$), devido que, independente da situação da carga (CC ou SC) e da velocidade de caminhada (VAS, +1AVAS, +2AVAS, -1AVAS e -2AVAS), o W_{ext} aumenta em forma diretamente proporcional com aumento da inclinação (0%, 7% e 15%).

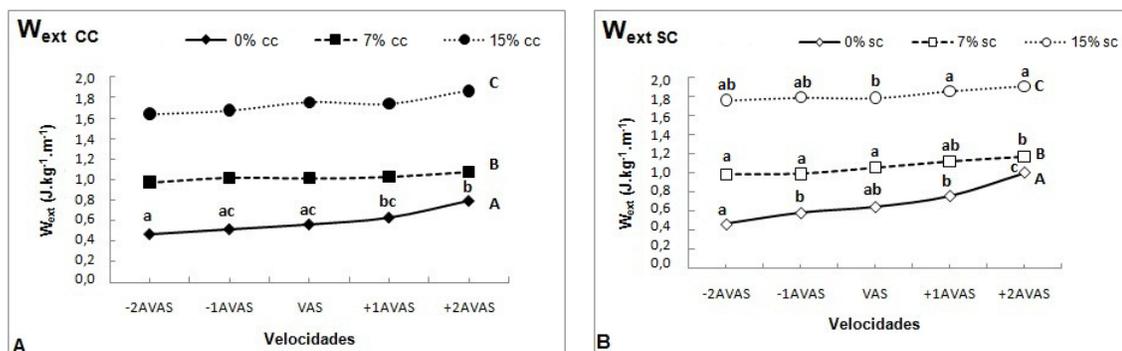


Figura 12. Desdobramento do W_{ext} por velocidade e por plano. **(A)** Comportamento do W_{ext} CC nas diferentes velocidades de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%), **(B)** Comportamento do W_{ext} SC nas diferentes velocidades de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%). Letras minúsculas diferentes, representam diferenças estatisticamente significativas entre as velocidades, e letras maiúsculas diferentes, representam diferenças estatisticamente significativas entre os planos ($p < 0,05$).

Comportamento do trabalho mecânico interno - W_{int}

Outro dos componentes do trabalho mecânico analisado foi o W_{int} , seu comportamento foi comparado entre os diferentes planos (0%, 7% e 15%), as diferentes situações da carga (CC e SC) e nas diferentes velocidades de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS). Os efeitos principais sobre W_{int} nas diferentes situações é apresentado na tabela 4.

Tabela 4. Análise da variância dos efeitos principais dos fatores Planos, Cargas e Velocidades, e da Interação Planos*Cargas, Planos*Velocidades, Cargas*Velocidades e Planos*Cargas*Velocidades no W_{int} . Média e erros padrão W_{int} nas diferentes situações. W_{int} apresentado em $J.kg^{-1}.m^{-1}$. * Indica que houve interação significativa entre os fatores. Letras diferentes representam diferenças significativas entre as velocidades.

Fator	Situação	$W_{int} (J.kg^{-1}.m^{-1})$		Sig.
		Média	EP	
Planos	0%	0,12	$\pm 0,003$	< 0,001
	7%	0,09	$\pm 0,002$	
	15%	0,10	$\pm 0,003$	
Cargas	CC	0,11	$\pm 0,002$	0,069
	SC	0,10	$\pm 0,002$	
Velocidades	-2AVAS	0,07 ^a	$\pm 0,003$	< 0,001
	-1AVAS	0,08 ^b	$\pm 0,002$	
	VAS	0,10 ^c	$\pm 0,003$	
	+1AVAS	0,12 ^d	$\pm 0,002$	
	+2AVAS	0,15 ^e	$\pm 0,005$	
Planos*Cargas				0,001*
Planos*Velocidades				0,162
Cargas*Velocidades				0,330
Planos*Cargas*Velocidades				0,157

O fator velocidade influencia significativamente o W_{int} ($p < 0,001$), sendo que o W_{int} aumenta conforme aumenta a velocidade de caminhada, independente da situação do plano (0%, 7% e 15%) e independente da situação da carga (CC ou SC), dados apresentados na figura 13.

Visto que houve interação significativa entre Planos*Carga, foi realizado o desdobramento para testar novamente esses efeitos principais no W_{int} .

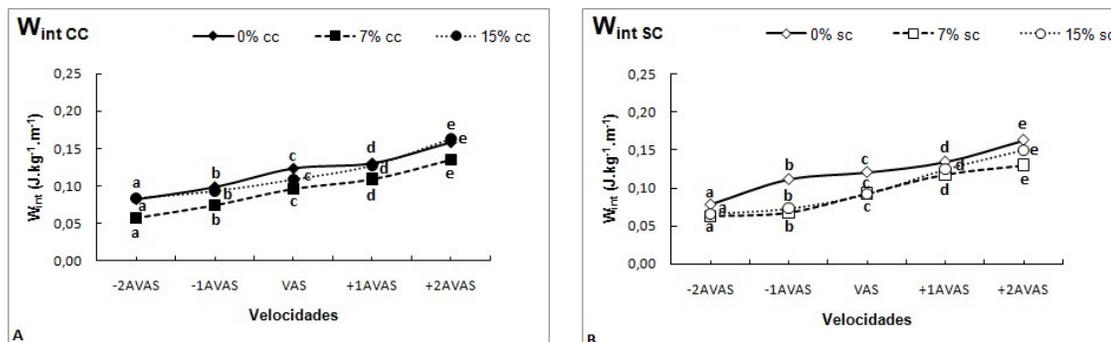


Figura 13. (A) Comportamento do W_{int} CC nas diferentes velocidades (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada, (B) Comportamento do W_{int} SC nas diferentes velocidades (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada. Letras diferentes, representam diferenças estatisticamente significativas entre as velocidades ($p < 0,05$).

O resultado do desdobramento avaliando os planos pode ser visualizado na figura 14. Esses resultados avaliando os planos demonstram que o W_{int} teve o mesmo comportamento em praticamente todas as velocidades. O W_{int} somente não apresentou diferenças significativas na situação sem carga na velocidade de -2AVAS, deste modo, podemos observar que o fator plano influencia significativamente no W_{int} , o qual diminui conforme aumenta o Plano (0%, 7% e 15%), independente da velocidade de caminhada e da situação da carga.

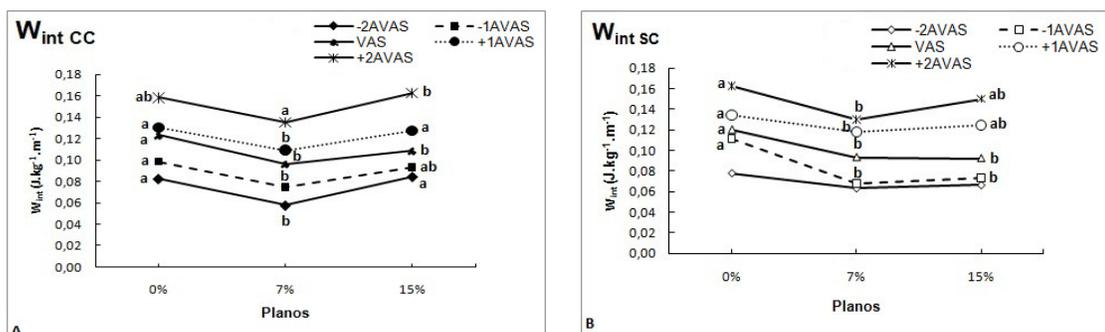


Figura 14. (A) Comportamento do W_{int} nos diferentes planos, durante a situação CC e nas diferentes velocidades de caminhada. **(B)** Comportamento do W_{int} nos diferentes planos, durante a situação SC e nas diferentes velocidades de caminhada. Letras diferentes representam diferenças estatisticamente significativas entre os planos ($p < 0,05$).

Os resultados do teste T pareado para comparação do W_{int} entre a situação CC e SC em cada plano e em cada velocidade de caminhada são apresentados na figura 15. Os resultados demonstram que de modo geral a carga não afetou o W_{int} . A carga afetou significativamente o W_{int} somente nos 15% de inclinação das velocidades -2AVAS ($p=0,035$), -1AVAS ($p=0,029$), e VAS ($p=0,006$).

Observando estes resultados, e tendo em consideração os resultados dos desdobramentos anteriores pode-se afirmar que o W_{int} é influenciado principalmente pela velocidade, dado que o W_{int} aumenta significativamente com o aumento da velocidade de caminhada, e também foi influenciado significativamente pelo plano de caminhada, deste modo o W_{int} diminui com o aumento da inclinação (0%, 7% e 15%).

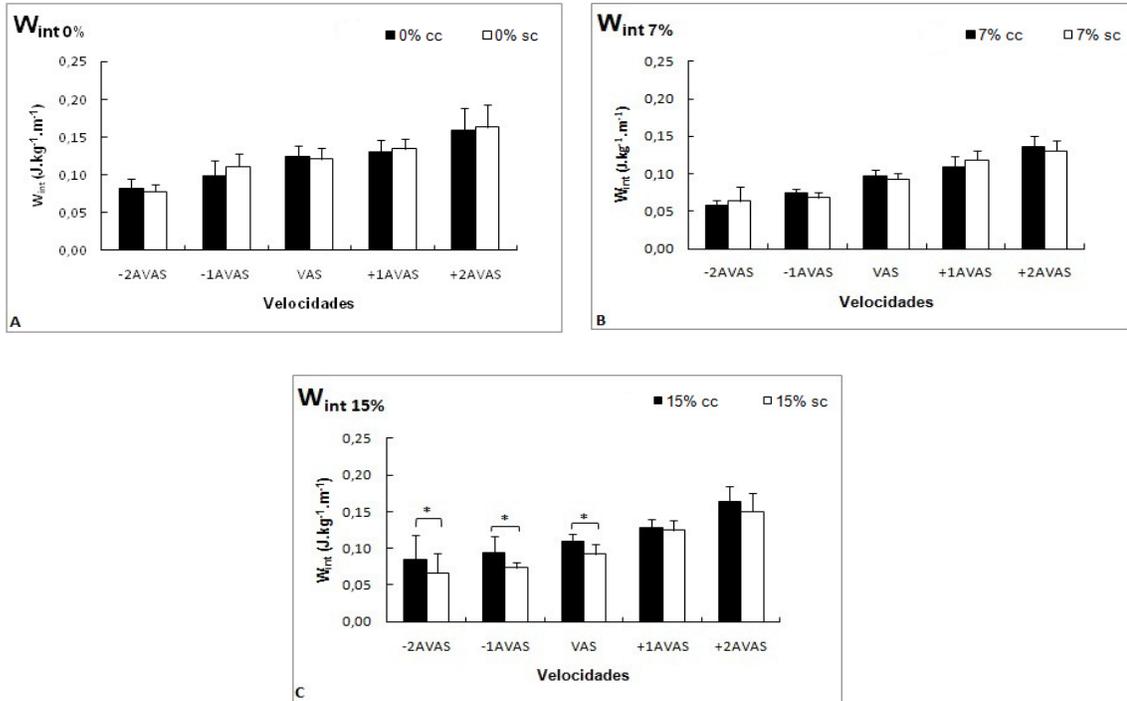


Figura 15. (A) Comportamento do W_{int} durante a situação do plano (0%) CC e SC, **(B)** W_{int} a 7% de inclinação CC e SC, **(C)** W_{int} nos 15% de inclinação CC e SC. * representa diferenças estatisticamente significativas entre as cargas ($p < 0,05$).

Comportamento do trabalho mecânico total - W_{tot}

O comportamento do W_{tot} também foi comparado entre os diferentes planos (0%, 7% e 15%), as diferentes situações da carga (Com Carga e Sem Carga) e nas diferentes velocidades relativas de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS). Os efeitos principais sobre W_{tot} nas diferentes situações é apresentado na tabela 5.

Tabela 5. Análise da variância dos efeitos principais dos fatores Planos, Cargas e Velocidades, e da Interação Planos*Cargas, Planos*Velocidades, Cargas*Velocidades e Planos*Cargas*Velocidades no W_{tot} . Média e erros padrão do W_{tot} nas diferentes situações. W_{tot} apresentado em $J.kg^{-1}.m^{-1}$. Letras diferentes representam diferenças significativas para os planos e as velocidades. * representa diferenças significativas entre as situações da carga.

Fator	Situação	$W_{tot} (J.kg^{-1}.m^{-1})$		Sig.
		Média	EP	
Planos	0%	0,07 ^a	±0,03	<0,001
	7%	1,13 ^b	±0,02	
	15%	1,88 ^c	±0,02	
Cargas	CC	1,23*	±0,01	0,005
	SC	1,29*	±0,02	
Velocidades	-2AVAS	1,11 ^a	±0,03	<0,001
	-1AVAS	1,16 ^a	±0,02	
	VAS	1,25 ^a	±0,02	
	+1AVAS	1,31 ^b	±0,02	
	+2AVAS	1,44 ^c	±0,04	
Planos*Cargas				0,320
Planos*Velocidades				0,064
Cargas*Velocidades				0,149
Planos*Cargas*Velocidades				0,238

Os resultados da tabela 5 referentes ao efeito do plano sobre o W_{tot} demonstram que independente da velocidade de caminhada e da situação da carga o W_{tot} é influenciado significativamente ($p < 0,001$) pelo plano de caminhada, o W_{tot} aumenta de forma diretamente proporcional com o acréscimo do gradiente (0%, 7% e 15%) de caminhada. Também, quando analisamos a carga, foi observado que o W_{tot} na situação SC é significativamente maior ($p = 0,005$) que durante a situação CC, independente do plano e da velocidade de caminhada. Do mesmo modo, analisando as diferentes velocidades de caminhada, o W_{tot} é significativamente maior ($p < 0,001$) nas maiores velocidades de caminhada (+1AVAS, +2AVAS), independente do plano (0%, 7% e 15%) e da situação da carga (CC ou SC). O comportamento do W_{tot} pode ser visualizado na figura 16.

Pode-se observar que as velocidades (Figura 16, letras minúsculas) de caminhada influenciam significativamente o W_{tot} ($p < 0,001$), sendo maior o W_{tot} nas velocidades de caminhada mais altas (+1AVAS, e +2AVAS), independente da situação do plano (0%, 7% e 15%) e da situação da carga (CC ou SC). Do mesmo modo, analisando os planos de caminhada da (Figura 16, letras maiúsculas) pode ser observado que o W_{tot} aumenta significativamente ($p < 0,001$) com aumento da

inclinação (0%, 7% e 15%), independente da carga (CC ou SC) e da velocidade de caminhada (VAS, +1AVAS, +2AVAS, -1AVAS e -2AVAS).

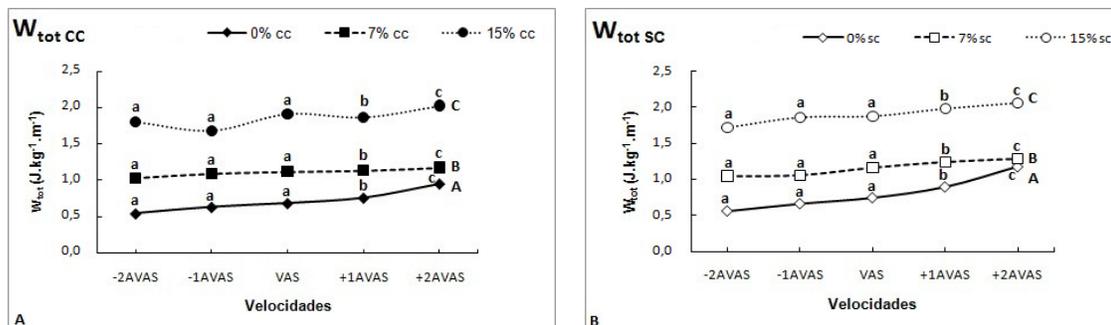


Figura 16. (A) Comportamento do W_{tot} CC nas diferentes velocidades (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada, **(B)** Comportamento do W_{tot} SC nas diferentes velocidades (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada. Letras minúsculas diferentes, representam diferenças estatisticamente significativas entre as velocidades, e letras maiúsculas diferentes, representam diferenças estatisticamente significativas entre os planos ($p < 0,05$).

Também, foi comparado o W_{tot} entre as situações CC e SC em cada plano (0%, 7% e 15%) e em cada velocidade de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) através do teste T pareado. Os resultados da comparação do W_{tot} CC e SC são apresentados na figura 17, os quais demonstram que, de modo geral, a carga não afetou o W_{tot} em todas as situações. A carga somente afetou significativamente o W_{tot} durante a caminhada no plano em duas velocidades, a saber, +1AVAS ($p=0,023$) e +2AVAS ($p=0,005$), e durante a caminhada a 7% de inclinação, em duas velocidades, a saber: VAS ($p=0,050$) e +1AVAS ($p=0,007$).

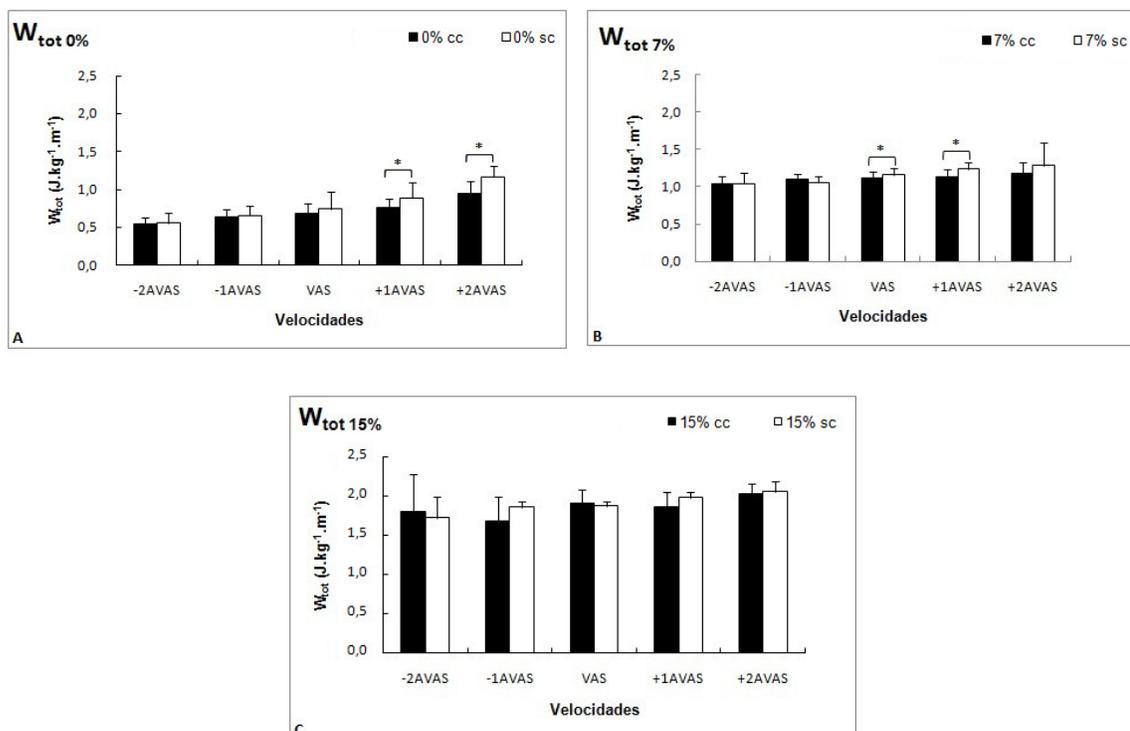


Figura 17. (A) Comportamento do W_{tot} durante a situação do plano (0%) CC e SC, (B) W_{tot} a 7% de inclinação CC e SC, (C) W_{tot} nos 15% de inclinação CC e SC. * representa diferenças estatisticamente significativas entre as cargas ($p < 0,05$).

Deste modo, e analisando de forma conjunta os resultados, pode-se afirmar que os planos de caminhada afetam significativamente o W_{tot} , dado que independentemente da velocidade de caminhada, e da situação da carga, o W_{tot} aumenta com o aumento do plano (0%, 7% e 15%). A velocidade de caminhada também afeta significativamente o W_{tot} , o qual apresenta os maiores valores de W_{tot} nas velocidades superiores (+1AVAS e +2AVAS). No entanto, o W_{tot} de modo geral não foi afetado pela carga (excetuando duas velocidades do plano e dos 7% de inclinação).

Comportamento do Comprimento de Passada – CP

O comportamento do CP foi comparado entre os diferentes planos (0%, 7% e 15%), as diferentes situações da carga (CC e SC) e nas diferentes velocidades relativas de caminhada. Os efeitos principais nas diferentes situações na variável CP são apresentados na tabela 6.

Tabela 6. Análise da variância dos efeitos principais dos fatores Planos, Cargas e Velocidades, e da Interação Planos*Cargas, Planos*Velocidades, Cargas*Velocidades e Planos*Cargas*Velocidades no CP. Média e erros padrão do CP nas diferentes situações. CP apresentado em metros (m). * Indica que houve interação significativa entre os fatores.

Fator	Situação	CP (m)		Sig.
		Média	EP	
Planos	0%	1,33	±0,01	< 0,001
	7%	1,13	±0,01	
	15%	1,08	±0,01	
Cargas	CC	1,18	±0,01	0,868
	SC	1,18	±0,01	
Velocidades	-2AVAS	0,75	±0,02	< 0,001
	-1AVAS	1,00	±0,02	
	VAS	1,21	±0,01	
	+1AVAS	1,39	±0,01	
	+2AVAS	1,54	±0,02	
Planos*Cargas				0,001*
Planos*Velocidades				0,007*
Cargas*Velocidades				0,277
Planos*Cargas*Velocidades				0,146

Houve interação significativa entre Planos*Carga e Planos*Velocidades. Deste modo, foi realizado o desdobramento para testar novamente esses fatores principais no CP. O resultado do desdobramento avaliando o fator Velocidades pode ser visualizado na Figura 18. O resultado do desdobramento avaliando o fator Plano pode ser visualizado na Figura 19.

Os resultados do desdobramento da Figura 18, avaliando as velocidades demonstram que independente da situação do plano (0%, 7% e 15%) e da situação da carga (CC ou SC), o CP aumenta significativamente ($p < 0,001$) e em forma diretamente proporcional com o aumento da velocidade (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS).

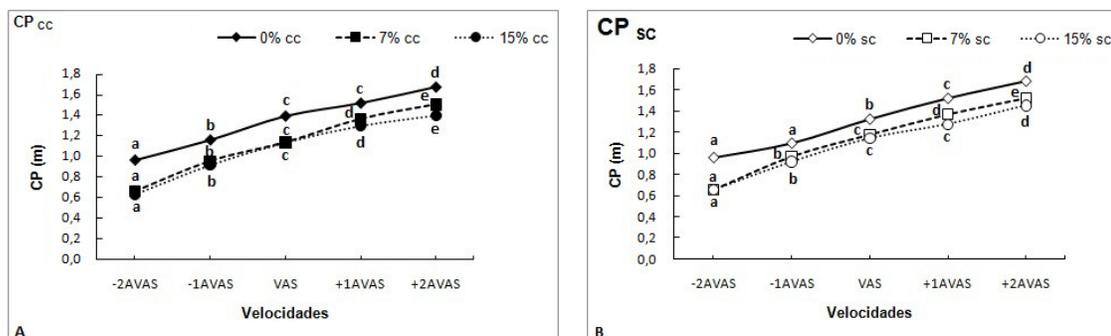


Figura 18. (A) Comportamento do CP na situação CC nas diferentes velocidades (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada, **(B)** Comportamento do CP na situação SC nas diferentes velocidades (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada. Letras diferentes, representam diferenças estatisticamente significativas entre as velocidades ($p < 0,05$).

Do mesmo modo, foi realizado o desdobramento avaliando os planos de caminhada, que podem ser observados na Figura 19. Assim, os resultados avaliando os planos de caminhada (0%, 7% e 15%) demonstram que independente da situação da carga (CC ou SC), e da velocidade de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) o CP é influenciado significativamente ($p < 0,001$) pela inclinação do terreno, assim o CP diminui de forma inversamente proporcional à medida que aumenta o plano de caminhada (0%, 7% e 15%).

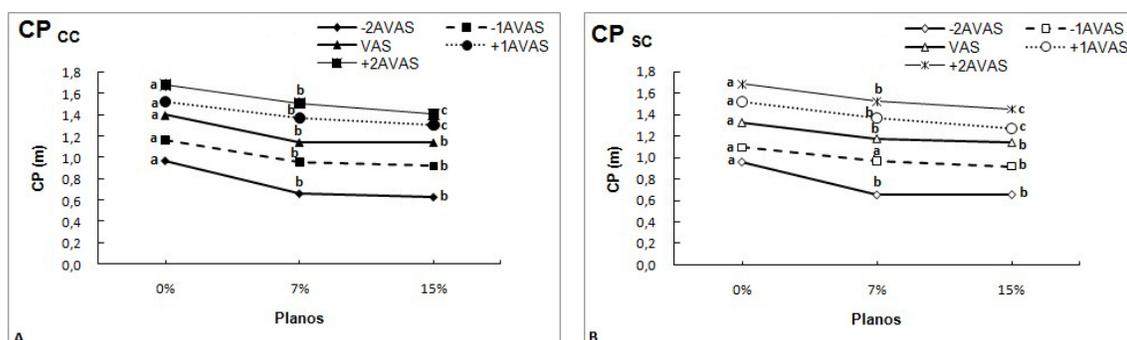


Figura 19. (A) Comportamento do CP nos diferentes planos, durante a situação CC e nas diferentes velocidades de caminhada. **(B)** Comportamento do CP nos diferentes planos, durante a situação SC e nas diferentes velocidades de caminhada. Letras diferentes representam diferenças estatisticamente significativas entre os planos ($p < 0,05$).

Os resultados do teste *T* pareado para comparação do CP entre as situações CC e SC em cada plano bem como em cada velocidade de caminhada são apresentados na Figura 20. Os resultados do teste *T* pareado demonstram que

independente da situação do plano e da velocidade de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) a carga não modificou o CP. O CP foi significativamente maior durante a situação SC quando comparado à CC somente na VAS a 7% de inclinação ($p=0,008$) e na velocidade +2AVAS a 15% de inclinação ($p=0,004$).

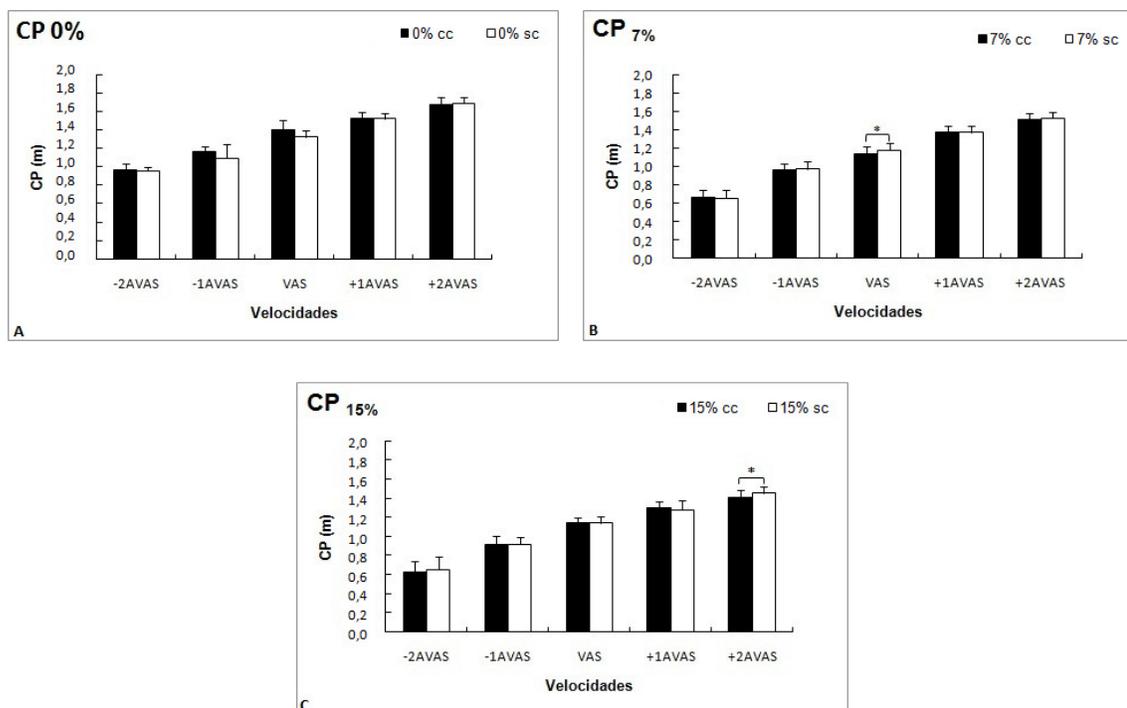


Figura 20. (A) Comportamento do CP durante a situação do plano (0%) CC e SC, (B) CP durante os 7% de inclinação CC e SC, (C) CP durante os 15% de inclinação CC e SC. * representa diferenças estatisticamente significativas entre as cargas ($p < 0,05$).

Comportamento da Frequência da Passada - FP

Assim como com o CP, o comportamento da FP foi comparado entre os diferentes planos (0%, 7% e 15%), as diferentes situações da carga (Com Carga e Sem Carga) e nas diferentes velocidades de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS). Os efeitos principais nas diferentes situações na variável FP são apresentados na tabela 7.

Tabela 7. Análise da variância dos efeitos principais dos fatores Planos, Cargas e Velocidades, e da Interação Planos*Cargas, Planos*Velocidades, Cargas*Velocidades e Planos*Cargas*Velocidades na FP. Média e erros padrão da FP nas diferentes situações. FP apresentada em Hz. * Indica que houve interação significativa entre os fatores.

Fator	Situação	FP (Hz)		
		Média	EP	Sig.
Planos	0%	0,80	±0,01	< 0,001
	7%	0,69	±0,01	
	15%	0,72	±0,01	
Cargas	CC	0,74	±0,01	0,743
	SC	0,74	±0,01	
Velocidades	-2AVAS	0,48	±0,01	< 0,001
	-1AVAS	0,64	±0,01	
	VAS	0,75	±0,01	
	+1AVAS	0,86	±0,01	
	+2AVAS	0,95	±0,01	
Planos*Cargas				0,028*
Planos*Velocidades				0,001*
Cargas*Velocidades				0,267
Planos*Cargas*Velocidades				0,156

Houve interação entre Planos*Carga, e Planos*Velocidades. Deste modo, foi realizado o desdobramento para testar novamente esses efeitos principais na FP. O resultado do desdobramento avaliando o fator Velocidades pode ser visualizado na Figura 21, os resultados do desdobramento avaliando as velocidades demonstram que independente da situação do plano (0%, 7% e 15%) e da situação da carga (CC ou SC), a FP aumenta significativamente ($p < 0,001$) com o aumento da velocidade de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS).

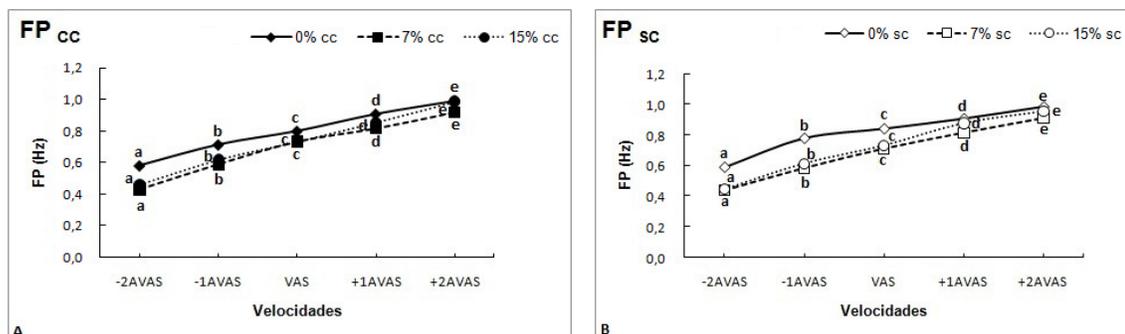


Figura 21. (A) Comportamento da FP na situação CC nas diferentes velocidades de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%), (B) Comportamento da FP na situação SC nas diferentes velocidades (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada. Letras diferentes, representam diferenças estatisticamente significativas entre as velocidades ($p < 0,05$).

Além disso, foi realizado o desdobramento avaliando os Planos, e eles podem ser observados na Figura 22. Os resultados avaliando os planos de caminhada (0%, 7% e 15%) demonstram que independente da situação da carga (CC ou SC), e da velocidade de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) a FP é influenciado significativamente ($p < 0,001$) pelo plano da caminhada, sendo que a maior FP foi realizada na caminhada no plano (0%) e depois foi realizada uma FP menor no plano inclinado de 7%, quando comparada com a caminhada a 0% e 15% de inclinação.

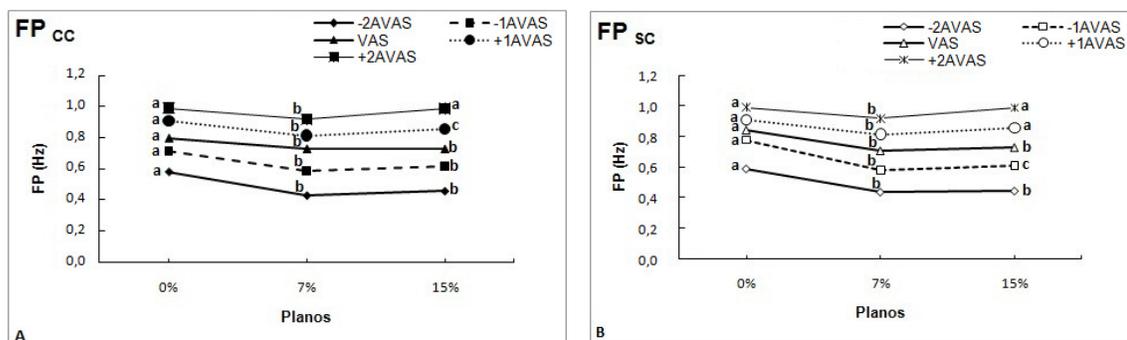


Figura 22. (A) Comportamento da FP nos diferentes planos, durante a situação CC e nas diferentes velocidades de caminhada. **(B)** Comportamento da FP nos diferentes planos, durante a situação SC e nas diferentes velocidades de caminhada. Letras diferentes representam diferenças estatisticamente significativas entre os planos ($p < 0,05$).

A FP foi avaliada na situação com e sem carga em cada plano e também em cada velocidade de caminhada. Os resultados da comparação da FP nas situações CC e SC são apresentados na Figura 23. Os resultados do teste *T* pareado demonstram que independente da situação do Plano (0%, 7% ou 15%) e da velocidade de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) a carga não modifica significativamente a FP. De modo excepcional, a FP foi significativamente maior durante a situação CC quando comparado à SC na VAS a 7% de inclinação ($p = 0,013$) e na velocidade +2AVAS a 15% de inclinação ($p = 0,007$).

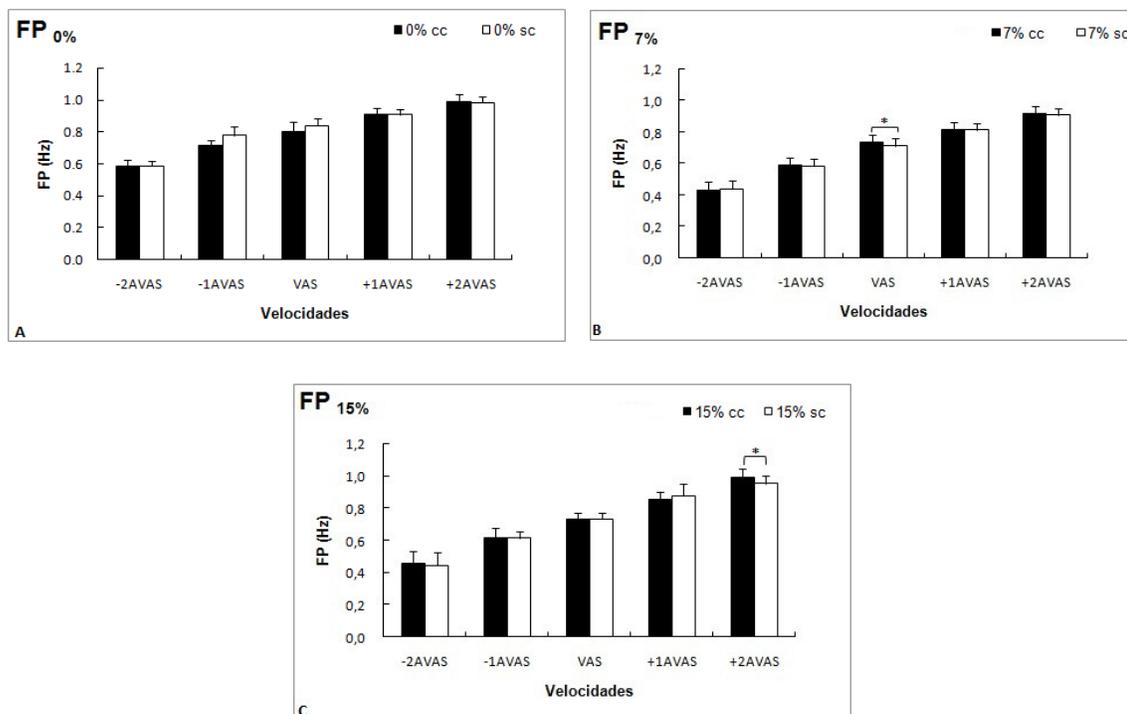


Figura 23. (A) Comportamento da FP durante a situação do plano (0%) CC e SC, (B) FP durante os 7% de inclinação CC e SC, (C) FP durante os 15% de inclinação CC e SC.* representa diferenças estatisticamente significativas entre as cargas ($p < 0,05$).

4.2. Energética da Caminhada

Comportamento da Potência Metabólica – P_{met}

O comportamento da P_{met} foi comparado entre os diferentes planos (0%, 7% e 15%), as diferentes situações da carga (CC e SC) e nas diferentes velocidades de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS).

Os efeitos principais nas diferentes situações na variável P_{met} são apresentados na tabela 8. Houve interação significativa entre Planos*Carga e Planos*Velocidades e também a tripla interação entre Planos*Cargas*Velocidades. Deste modo, foi realizado o desdobramento para testar novamente esses efeitos principais na P_{met} da caminhada.

Tabela 8. Análise da variância dos efeitos principais dos fatores Planos, Cargas e Velocidades, e da Interação Planos*Cargas, Planos*Velocidades, Cargas*Velocidades e Planos*Cargas*Velocidades para a P_{met} . Média e erros padrão da P_{met} nas diferentes situações. P_{met} apresentada em $W\ kg^{-1}$. * Indica que houve interação significativa entre os fatores.

Fator	Situação	P_{met} ($W\ kg^{-1}$)		Sig.
		Média	EP	
Planos	0%	2,50	$\pm 0,14$	< 0,001
	7%	3,14	$\pm 0,15$	
	15%	5,07	$\pm 0,13$	
Cargas	CC	4,01	$\pm 0,07$	< 0,001
	SC	3,13	$\pm 0,04$	
Velocidades	-2AVAS	1,83	$\pm 0,04$	< 0,001
	-1AVAS	2,47	$\pm 0,04$	
	VAS	3,21	$\pm 0,04$	
	+1AVAS	4,43	$\pm 0,07$	
	+2AVAS	5,93	$\pm 0,12$	
Planos*Cargas				0,009*
Planos*Velocidades				< 0,001*
Cargas*Velocidades				< 0,001*
Planos*Cargas*Velocidades				0,038*

O resultado do desdobramento avaliando o fator Velocidades pode ser visualizado na Figura 24. Os resultados do desdobramento da Figura 24, avaliando as velocidades demonstram que independente da situação do plano e da situação da carga, a P_{met} é influenciada significativamente ($p < 0,001$) pela velocidade de caminhada, assim sendo, os resultados evidenciam que a P_{met} aumenta em forma exponencial com o aumento da velocidade de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS).

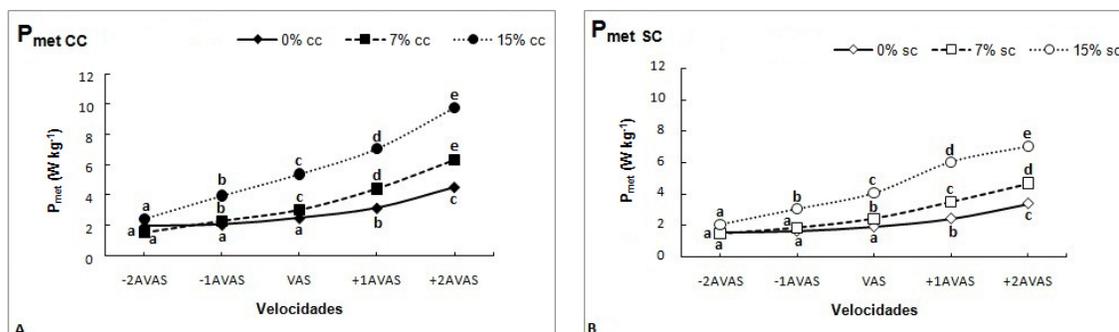


Figura 24. (A) Comportamento da P_{met} nas diferentes velocidades CC (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada, (B) Comportamento da P_{met} nas diferentes velocidades SC (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada. Letras diferentes, representam diferenças estatisticamente significativas entre as velocidades ($p < 0,05$).

Além disso, foi realizado o desdobramento avaliando os planos, e eles podem ser observados na Figura 25. Os resultados demonstram que os planos afetam significativamente ($p < 0,001$) a P_{met} , em todas as velocidades da situação CC. Na medida em que aumenta o plano de caminhada (0%, 7% e 15%), aumenta a P_{met} . Na situação de caminhada SC, o plano de 15% de inclinação modificou significativamente a P_{met} , nas velocidades mais baixas, a saber: -2AVAS, -1AVAS, VAS, sendo esta maior quando comparada com a caminhada no 0% e nos 7%. Nas velocidades superiores, de +1AVAS, +2AVAS durante a situação SC. Na medida em que aumenta a inclinação do terreno (7% e 15%) a P_{met} aumenta de modo diretamente proporcional.

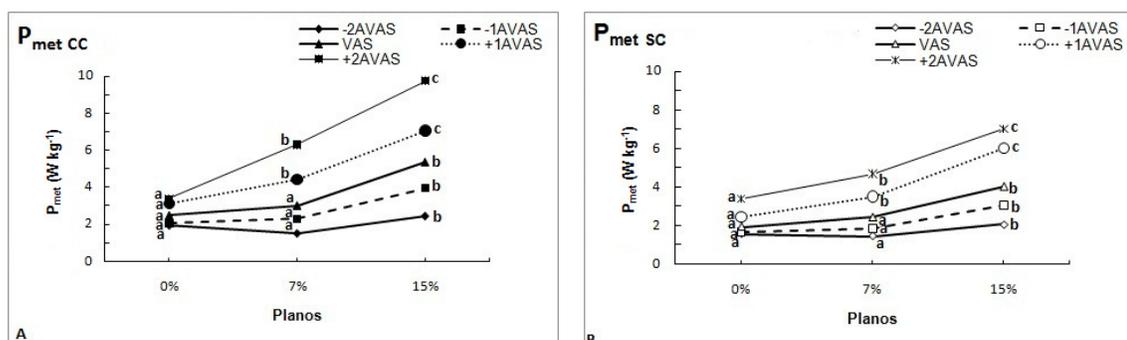


Figura 25. (A) Comportamento da P_{met} nos diferentes planos, durante a situação CC e nas diferentes velocidades de caminhada. **(B)** Comportamento da P_{met} nos diferentes planos, durante a situação SC e nas diferentes velocidades de caminhada. Letras diferentes representam diferenças estatisticamente significativas entre os planos ($p < 0,05$).

A P_{met} foi avaliada também na situação CC e SC através do teste T pareado em cada plano (0%, 7% e 15%) e em cada velocidade de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS). Os resultados da comparação da P_{met} nas situações CC e SC são apresentados na Figura 26, os quais demonstram que, independente da situação do plano e da velocidade de caminhada a carga influencia significativamente a P_{met} . A P_{met} sempre é significativamente ($p < 0,001$) maior durante a situação CC quando comparada à SC.

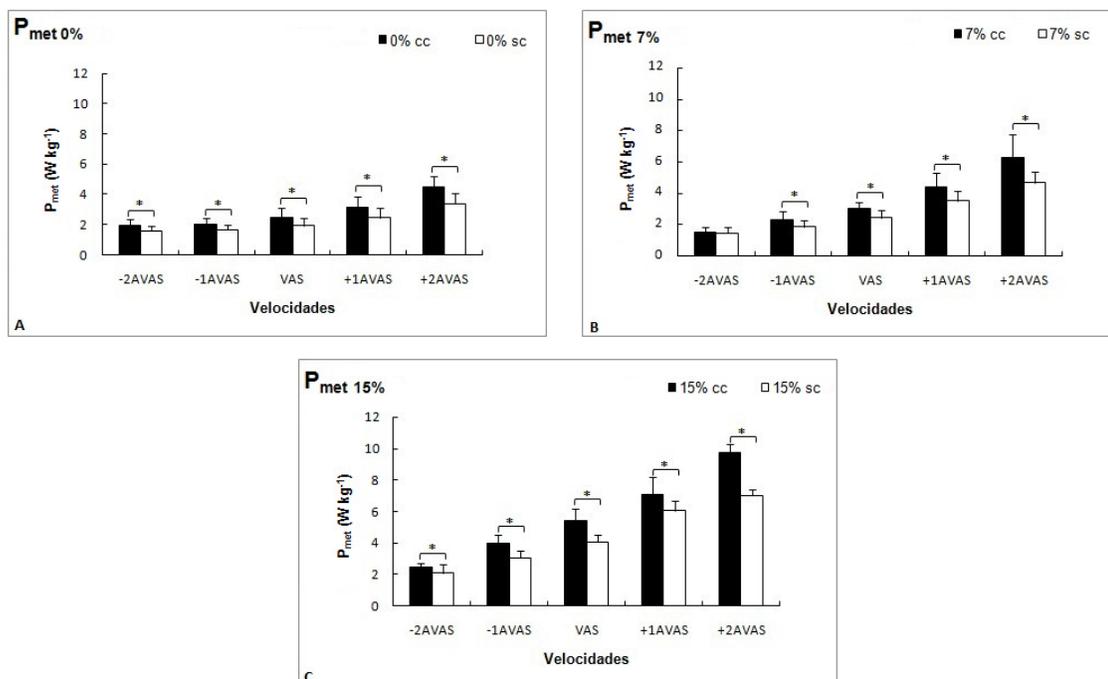


Figura 26. (A) Comportamento da P_{met} durante a situação do plano (0%) CC e SC. (B) P_{met} durante os 7% de inclinação CC e SC. (C) P_{met} durante os 15% de inclinação CC e SC.* representa diferenças estatisticamente significativas entre as cargas ($p < 0,05$).

Deste modo, analisando os desdobramentos de cada fator, pode-se afirmar que a P_{met} apresenta diferença significativa em todas as condições. Assim, quando aumenta a velocidade de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) a P_{met} aumenta significativamente em todos os planos, tanto CC como SC. Igualmente, quando aumenta o plano de caminhada (0%, 7% e 15%), a P_{met} aumenta significativamente em todas as velocidades, tanto CC ou SC. Finalmente, ela também é influenciada significativamente pela situação da carga, apresentando uma P_{met} maior durante as situações CC quando comparada a SC, independente dos planos e das velocidades de caminhada.

Igualmente, foi comparada a P_{met} Total que é a correspondente a P_{met} da massa total (massa corporal + massa da carga) com a P_{met} Corporal que é correspondente à P_{met} da massa corporal. O comportamento pode ser visualizado na Figura 27.

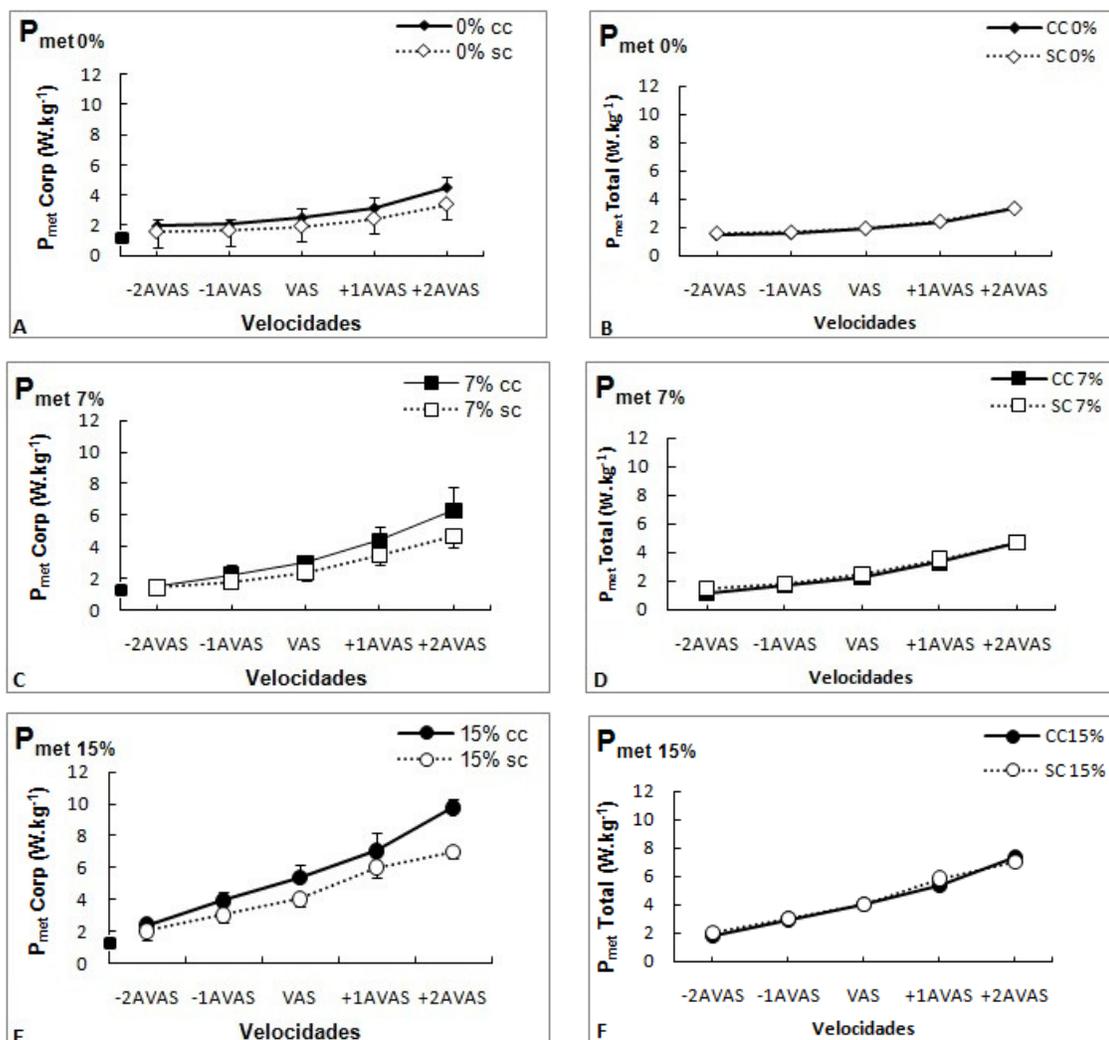


Figura 27. Comparação da P_{met} corporal (gráficos do lado esquerdo) e P_{met} total (gráficos do lado direito). (A, B) Comportamento da P_{met} corporal e P_{met} total durante a situação CC e SC, nas diferentes velocidades da caminhada no plano. (C, D) Comportamento da P_{met} corporal e P_{met} total durante a situação CC e SC, nas diferentes velocidades da caminhada a 7% de inclinação. (E, F) Comportamento da P_{met} corporal e P_{met} total durante a situação CC e SC, nas diferentes velocidades da caminhada a 15% de inclinação. P_{met} em W.kg⁻¹. P_{met} de repouso em pé, quadrado preto no eixo vertical da P_{met} corporal.

Comportamento do Custo de Transporte – C

Dentro da análise da energética da caminhada, uma das variáveis mais importantes é o comportamento do custo de transporte (C). Portanto, foi comparado o C entre os diferentes planos (0%, 7% e 15%), as diferentes situações da carga (CC e SC) e nas diferentes velocidades de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS). Os efeitos principais nas diferentes situações sobre a variável C são apresentados na tabela 9.

Tabela 9: Análise da variância dos efeitos principais dos fatores Planos, Cargas e Velocidades, e da Interação Planos*Cargas, Planos*Velocidades, Cargas*Velocidades e Planos*Cargas*Velocidades para o C. Média e erros padrão do C nas diferentes situações. C apresentado em $J.kg^{-1}.m^{-1}$. * representa diferenças significativas entre os fatores.

Fator	Situação	C ($J.kg^{-1}.m^{-1}$)		Sig.
		Média	EP	
Planos	0%	2,35	$\pm 0,13$	< 0,001
	7%	3,97	$\pm 0,19$	
	15%	6,47	$\pm 0,16$	
Cargas	CC	4,69	$\pm 0,08$	< 0,001
	SC	3,81	$\pm 0,05$	
Velocidades	-2AVAS	5,47	$\pm 0,08$	< 0,001
	-1AVAS	4,10	$\pm 0,08$	
	VAS	3,57	$\pm 0,04$	
	+1AVAS	3,87	$\pm 0,06$	
	+2AVAS	4,23	$\pm 0,09$	
Planos*Cargas				0,010*
Planos*Velocidades				0,021*
Cargas*Velocidades				0,410
Planos*Cargas*Velocidades				0,216

Houve interação significativa entre Planos*Carga e Planos*Velocidades. Em seguida, foi realizado o desdobramento para testar novamente esses efeitos principais no C da caminhada.

Os resultados do desdobramento avaliando as velocidades da Figura 28, (letras minúsculas) demonstram que independente da situação do plano (0%, 7% e 15%) e da situação da carga (CC ou SC), o C é influenciado significativamente ($p < 0,001$) pela velocidade de caminhada, assim, os resultados evidenciam que o C é menor nas velocidades intermediárias a saber, na -1AVAS, na VAS, e na +1AVAS é significativamente maior do que nas velocidades dos extremos, a saber -2AVAS, +2AVAS.

Os resultados do desdobramento (Figura 28, letras maiúsculas) avaliando os planos de caminhada (0%, 7% e 15%) demonstram que os planos afetam significativamente ($p < 0,001$) o C, dado que na medida em que aumenta o plano de caminhada, o C aumenta em forma proporcional, independente da velocidade de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e do efeito da carga (CC ou SC).

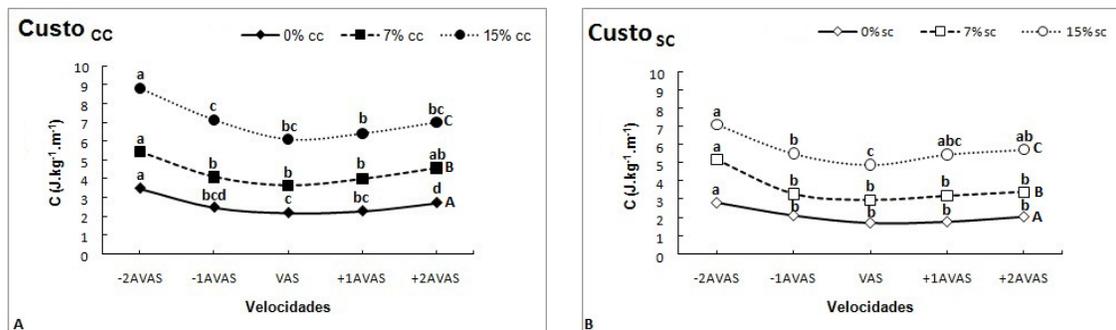


Figura 28. (A) Comportamento do C nas diferentes velocidades CC (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada, **(B)** Comportamento do C nas diferentes velocidades SC (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada. Letras minúsculas diferentes representam diferenças estatisticamente significativas entre as velocidades, e letras maiúsculas diferentes, representam diferenças estatisticamente significativas entre os planos ($p < 0,05$).

Os resultados do teste T pareado para comparação do C entre as situações CC e SC são apresentados na Figura 29, para cada plano como também para cada velocidade de caminhada. Os resultados do C no teste T demonstram que independente da situação do plano e da velocidade de caminhada a carga influencia significativamente o C da caminhada. O C é significativamente ($p < 0,001$) maior durante a situação CC quando comparada à SC, independente do plano e da velocidade de caminhada.

Deste modo, e analisando os desdobramentos de cada fator, foi observado que o C apresenta diferença significativa em todas as condições, assim o C apresenta os menores valores nas velocidades intermediárias, e aumenta nas velocidades baixas e altas, aproximando-se a uma curva com forma de U, tanto nos diferentes planos, como nas situações CC como SC. Do mesmo modo, quando o plano de caminhada aumenta (0%, 7% e 15%), o C aumenta significativamente em todas as velocidades, tanto CC ou SC. Finalmente, o C também é influenciado significativamente pela situação da carga, apresentando o C maior durante as situações CC quando comparada a SC, independente dos planos e das velocidades de caminhada.

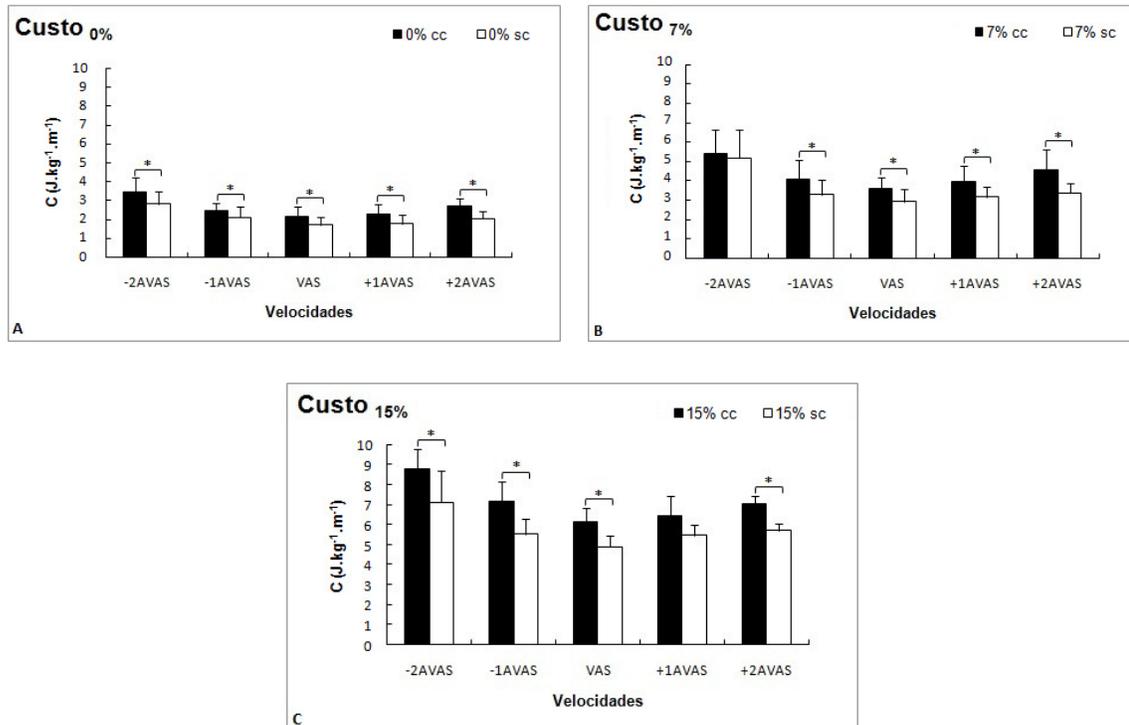


Figura 29. (A) Comportamento do C no plano (0%) CC e SC. (B) Comportamento do C nos 7% de inclinação CC e SC. (C) Comportamento do C nos 15% de inclinação CC e SC.* representa diferenças estatisticamente significativas entre as cargas ($p < 0,05$).

Os resultados do C nas diferentes situações analisadas foram comparados graficamente com os dados da literatura, e é apresentado na Figura 30 a continuação.

A visualização gráfica da comparação dos resultados do C obtidos no presente com a literatura (ARDIGÒ, SAIBENE *et al.*, 2002) demonstram que nossos resultados do C da caminhada durante a situação CC (Figura 30, A), é possível observar que foram maiores nos 7% e a 15% de inclinação e nas diferentes velocidades estudadas, em comparação aos achados encontrados na literatura para a caminhada sem carga na inclinação. Analisando a comparação de nossos resultados do C durante a situação SC (Figura 30, B), é possível observar que foram menores, em comparação aos achados encontrados na literatura para a caminhada sem carga na inclinação, em todos os planos analisados (0%, 7% e 15%). Somente na velocidade mais alta de caminhada, os dados de C sem carga foram maiores aos da literatura.

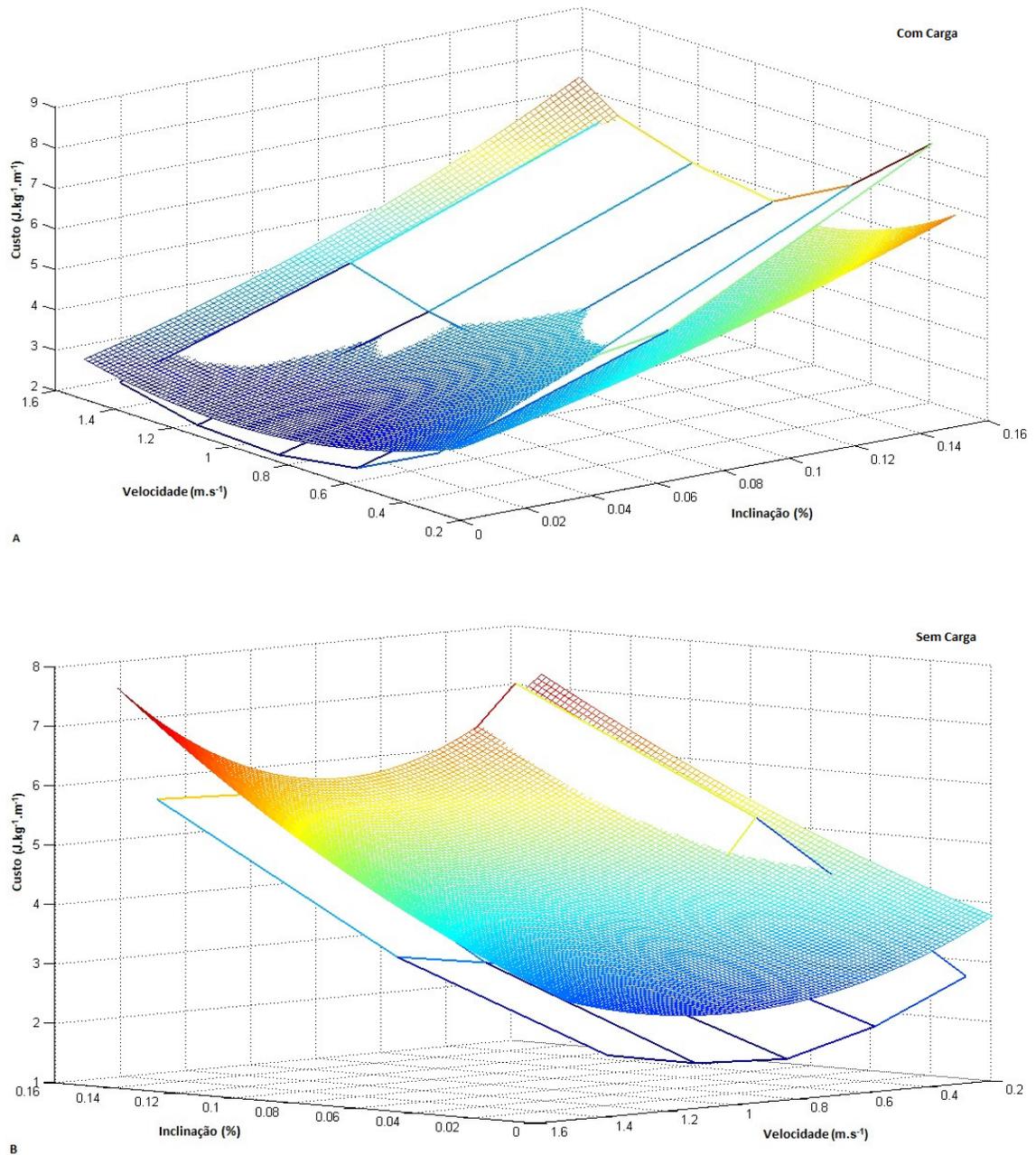


Figura 30. Comparação dados custo de transporte do presente estudo com dados da literatura (ARDIGÒ, SAIBENE *et al.*, 2002). Para cada par (Velocidade, Inclinação), a superfície colorida representa o Custo de Transporte mínimo estabelecido na literatura da caminhada em cada situação. **(A)** Superfície em branco superposta, representa o custo de transporte do presente estudo, durante a caminhada Com Carga. **(B)** Superfície em fundo branco superposta, representa o custo de transporte do presente estudo, durante a caminhada Sem Carga. Custo em J.kg⁻¹.m⁻¹, Velocidades em m.s⁻¹ e Inclinação em %.

Comportamento da Eficiência - Eff

O comportamento da Eff foi comparado entre os diferentes planos (0%, 7% e 15%), as diferentes situações da carga (Com Carga e Sem Carga) e nas diferentes velocidades de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS).

Os efeitos principais nas diferentes situações na variável Eff são apresentados na tabela 10, a qual demonstra que houve interação significativa entre Planos*Velocidades. Logo, foi realizado o desdobramento para testar novamente esses efeitos principais na Eff da caminhada.

Tabela 10. Análise da variância dos efeitos principais dos fatores Planos, Cargas e Velocidades, e da Interação Planos*Cargas, Planos*Velocidades, Cargas*Velocidades e Planos*Cargas*Velocidades para a Eff. Média e erros padrão da Eff nas diferentes situações. * representa diferenças significativas entre os fatores.

Fator	Situação	Eff		
		Média	EP	Sig.
Planos	0%	0,33	±0,01	0,225
	7%	0,30	±0,01	
	15%	0,30	±0,01	
Cargas	CC	0,28	±0,01	< 0,001
	SC	0,34	±0,01	
Velocidades	-2AVAS	0,20	±0,01	< 0,001
	-1AVAS	0,30	±0,01	
	VAS	0,34	±0,01	
	+1AVAS	0,35	±0,01	
	+2AVAS	0,35	±0,01	
Planos*Cargas				0,053
Planos*Velocidades				0,001*
Cargas*Velocidades				0,126
Planos*Cargas*Velocidades				0,128

O resultado do desdobramento avaliando as velocidades pode ser visualizado na Figura 31. Os resultados avaliando as velocidades demonstram que independente da situação do plano (0%, 7% e 15%) e da situação da carga (CC ou SC), a Eff é influenciada significativamente ($p < 0,001$) pela velocidade de caminhada, apresentando uma Eff significativamente menor na velocidade mais baixa (-2AVAS) e aumentando com o acréscimo da velocidade de caminhada.

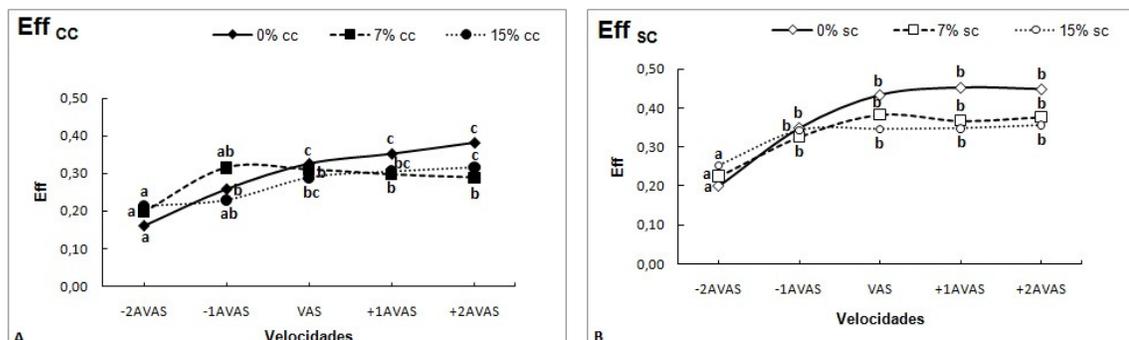


Figura 31. (A) Comportamento da Eff nas diferentes velocidades CC (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada, **(B)** Comportamento da Eff nas diferentes velocidades SC (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada. Letras diferentes, representam diferenças estatisticamente significativas entre as velocidades ($p < 0,05$).

O resultado do desdobramento avaliando os planos de caminhada pode ser visualizado na Figura 32. Os resultados avaliando os planos (0%, 7% e 15%) demonstram que os planos afetam significativamente a Eff na situação CC, nas velocidades baixas a -2AVAS ($p=0,036$) e a -1AVAS ($p=0,027$) as quais apresentavam o maior valor de Eff nos 7% de inclinação. Para a situação SC a Eff influenciou significativamente as velocidades altas a VAS ($p=0,042$), a +1AVAS ($p=0,017$) e a +2AVAS ($p=0,007$), apresentando uma diminuição significativa da Eff na medida em que aumenta a inclinação.

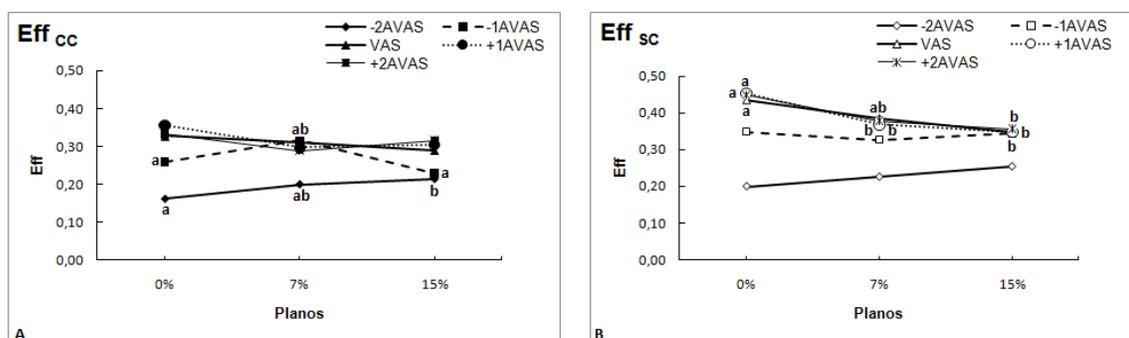


Figura 32. (A) Comportamento da Eff nos diferentes planos, durante a situação CC e nas diferentes velocidades de caminhada. **(B)** Comportamento da Eff nos diferentes planos, durante a situação SC e nas diferentes velocidades de caminhada. Letras diferentes representam diferenças estatisticamente significativas entre os planos ($p < 0,05$).

Os resultados do teste T pareado para comparação da Eff entre as situações CC e SC são apresentados na Figura 33, para cada plano e também em cada velocidade de caminhada.

Os resultados da Eff no teste T pareado demonstram que independente da inclinação (0%, 7% ou 15%) e da velocidade de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) a carga influencia significativamente a Eff da caminhada. A Eff é significativamente menor durante a situação CC quando comparada a SC, independente do plano e da velocidade de caminhada.

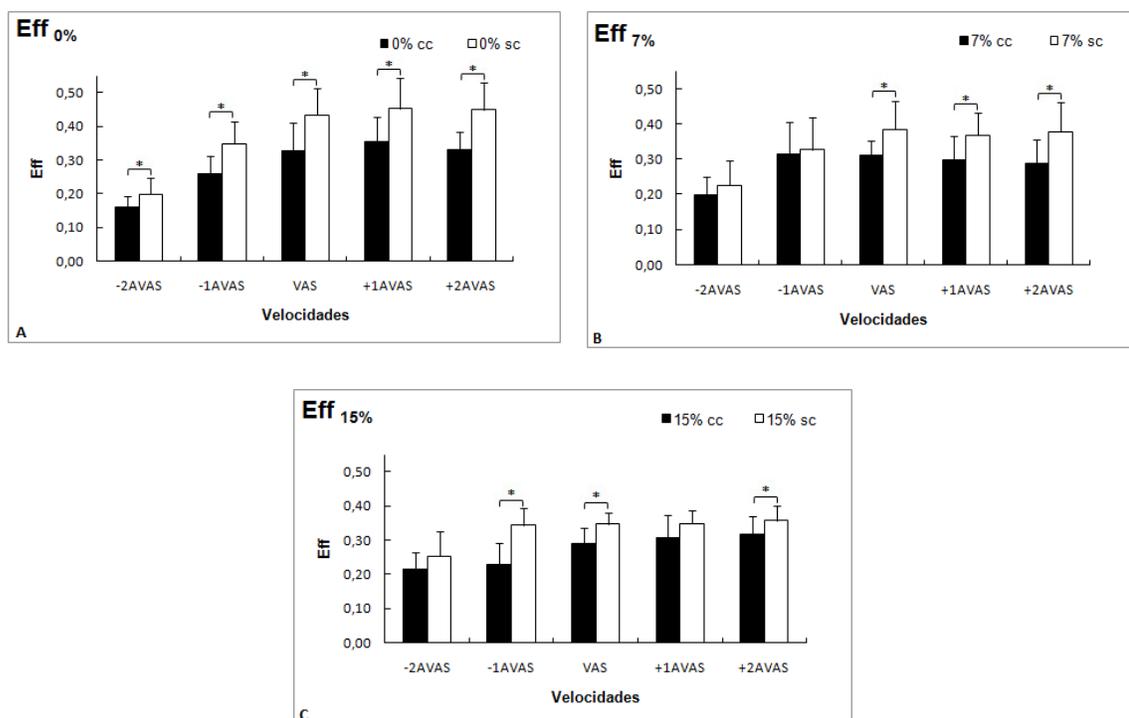


Figura 33. (A) Comportamento da Eff durante a situação do plano (0%) CC e SC. **(B)** Comportamento da Eff nos 7% de inclinação CC e SC. **(C)** Comportamento da Eff nos 15% de inclinação CC e SC. * representa diferenças estatisticamente significativas entre as cargas ($p < 0,05$).

Comportamento da Velocidade Ótima - $V_{\text{ótima}}$

Na análise da Energética da caminhada, outra das variáveis principais no estudo da locomoção é o estudo da $V_{\text{ótima}}$ de caminhada. O comportamento da $V_{\text{ótima}}$ foi comparado entre os diferentes planos (0%, 7% e 15%).

Os efeitos principais nas diferentes situações na variável $V_{\text{ótima}}$ durante os diferentes planos são apresentados na tabela 11.

Os resultados da tabela, avaliando os planos de caminhada (0%, 7% e 15%) demonstram que os planos afetam significativamente a $V_{\text{ótima}}$ ($p < 0,001$). Os dados evidenciam que, a $V_{\text{ótima}}$ no plano ocorre em uma velocidade de caminhada significativamente maior quando comparada com as inclinações de 7% e 15%, independente da situação da carga.

Tabela 11. Análise da variância dos efeitos principais do fator Planos e Cargas e da Interação Planos*Cargas para a $V_{\text{ótima}}$. Média e erros padrão da $V_{\text{ótima}}$ nas diferentes situações. $V_{\text{ótima}}$ apresentada em $\text{J.kg}^{-1}.\text{m}^{-1}$. Letras diferentes representam diferenças significativas.

Fator Planos	Situação	$V_{\text{ótima}}$ ($\text{J.kg}^{-1}.\text{m}^{-1}$)		
		Média	DP	Sig.
0%	Com Carga	4,40 ^a	$\pm 0,24$	<0,001
7%		3,48 ^b	$\pm 0,31$	<0,001
15%		3,46 ^b	$\pm 0,27$	<0,001
0%	Sem Carga	4,40 ^a	$\pm 0,35$	<0,001
7%		3,35 ^b	$\pm 0,22$	<0,001
15%		3,29 ^b	$\pm 0,48$	<0,001

Os resultados evidenciam que há uma $V_{\text{ótima}}$ nos 7% e 15% de inclinação, e que a mesma é independente da carga (Tabela 11) também durante as caminhadas nas inclinações, de modo similar à $V_{\text{ótima}}$ no plano.

Para a comparação da $V_{\text{ótima}}$ nas diferentes situações da carga (CC e SC) foi realizado o teste T pareado, os resultados da comparação entre as cargas na tabela 12. Os resultados do teste T demonstram que a $V_{\text{ótima}}$ não é modificada pela carga, tanto na situação do plano (0%) quanto nas inclinações (7% ou 15%).

Tabela 12. Teste T pareado comparando o fator carga, CC = com carga, SC = sem carga. Nas diferentes situações dos planos de caminhada (0%, 7% e 15%). Média e DP da $V_{\text{ótima}}$ com e sem carga. $V_{\text{ótima}}$ apresentada em $\text{J.kg}^{-1}.\text{m}^{-1}$. * representa que houve diferença significativa.

Fator Carga	Situação	$V_{\text{ótima}}$ ($\text{J.kg}^{-1}.\text{m}^{-1}$)		
		Média	DP	Sig.
CC	0%	4,40	$\pm 0,24$	0,950
SC		4,40	$\pm 0,35$	
CC	7%	3,48	$\pm 0,31$	0,273
SC		3,35	$\pm 0,22$	
CC	15%	3,46	$\pm 0,27$	0,221
SC		3,29	$\pm 0,48$	

Do mesmo modo, o comportamento da $V_{\text{ótima}}$ no plano e nas inclinações pode ser visualizado na Figura 34.

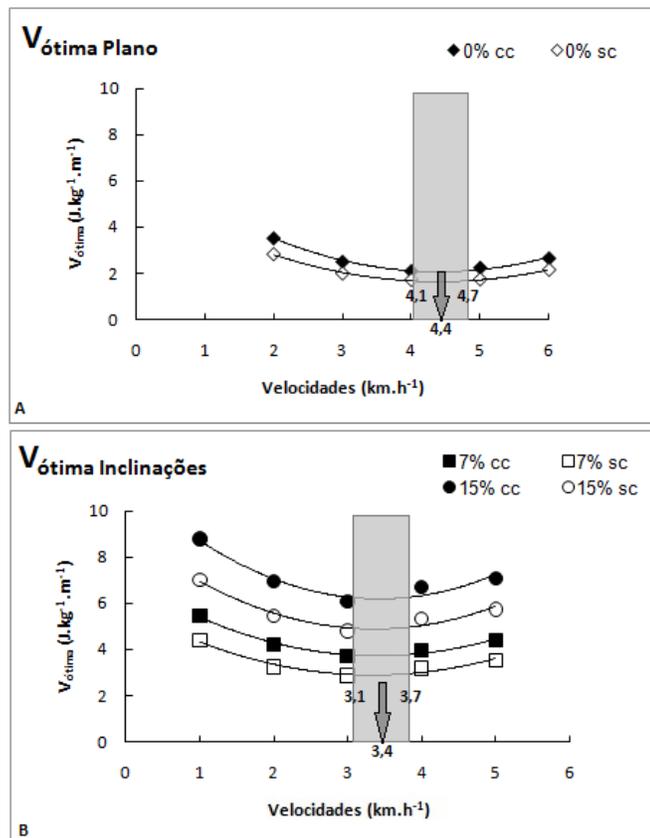


Figura 34. (A) Comportamento da $V_{\text{ótima}}$ na situação CC e SC durante a caminhada no plano. **(B)** Comportamento da $V_{\text{ótima}}$ na situação CC e SC durante a caminhada nas inclinações de 7% e 15%. Linhas contínuas são advindas de funções polinomiais de segunda ordem das médias de todos os sujeitos em cada velocidade de caminhada com e sem carga nos diferentes planos (0%, 7% e 15%). Símbolos fechados situação CC, e símbolos abertos, situação SC. Área retangular cinza representa a faixa de velocidades na qual a $V_{\text{ótima}}$ está incluída em cada plano (0%, 7% e 15%). A seta indica a $V_{\text{ótima}}$ em cada plano (0%, 7% e 15%) a qual é independente da carga.

4.3. Mecanismo Pendular

Comportamento do *Recovery* - R

O comportamento do R foi comparado entre os diferentes planos (0%, 7% e 15%), as diferentes situações da carga (Com Carga e Sem Carga) e nas diferentes velocidades de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS). Os efeitos principais nas diferentes situações do R são apresentados na tabela 13.

Tabela 13. Análise da variância dos efeitos principais dos fatores Planos, Cargas e Velocidades, e da Interação Planos*Cargas, Planos*Velocidades, Cargas*Velocidades e Planos*Cargas*Velocidades para o R. Média e erros padrão do R nas diferentes situações. R apresentado em percentual (%). * representa diferenças significativas entre os fatores.

Fator	Situação	R (%)		
		Média	EP	Sig.
Planos	0%	43,95	±1,74	< 0,001
	7%	31,53	±1,61	
	15%	23,38	±0,65	
Cargas	CC	33,19	±0,98	0,501
	SC	32,71	±1,25	
Velocidades	-2AVAS	27,96	±1,33	< 0,001
	-1AVAS	30,15	±1,09	
	VAS	32,29	±1,06	
	+1AVAS	36,67	±1,27	
	+2AVAS	37,69	±1,52	
Planos*Cargas				0,732
Planos*Velocidades				0,002*
Cargas*Velocidades				< 0,001*
Planos*Cargas*Velocidades				0,031*

Houve interação significativa entre Planos*Velocidades e Cargas*Velocidades. Posteriormente, foi realizado o desdobramento para testar novamente esses efeitos principais no R da caminhada. O resultado do desdobramento avaliando o fator Velocidades pode ser visualizado na Figura 35.

Os resultados do desdobramento avaliando as velocidades (Figura 35) demonstram que durante a situação do plano (0%) CC e SC, o R aumenta significativamente ($p < 0,001$) com aumento da velocidade até atingir seu máximo na velocidade (+1AVAS). Mas, durante as situações inclinadas de 7% e 15%, o R aumenta significativamente com o aumento da velocidade de caminhada atingindo seu máximo na velocidade +2AVAS.

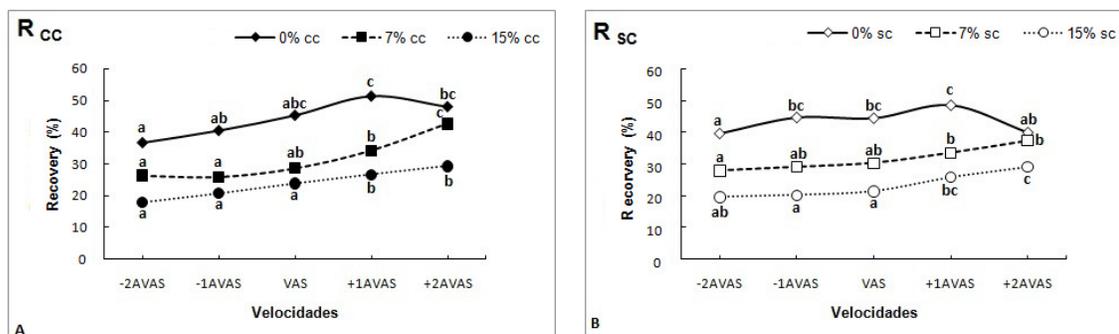


Figura 35. (A) Comportamento do R nas diferentes velocidades CC (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada, **(B)** Comportamento do R nas diferentes velocidades SC (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada. Letras diferentes representam diferenças estatisticamente significativas entre as velocidades ($p < 0,05$).

Em seguida, foi realizado o desdobramento avaliando os planos, observados na Figura 36. Os resultados avaliando os planos (0%, 7% e 15%), demonstram que os mesmos afetam significativamente ($p < 0,001$) o R, sendo que independente da situação da carga (CC ou SC) e da velocidade de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) o R diminui enquanto que a inclinação do terreno aumenta (0%, 7% e 15%). Não obstante, pode-se observar, que em ambas as situações (CC ou SC) o percentual de R na inclinação de 15% ainda é importante, devido a uma reconversão próxima de 30%.

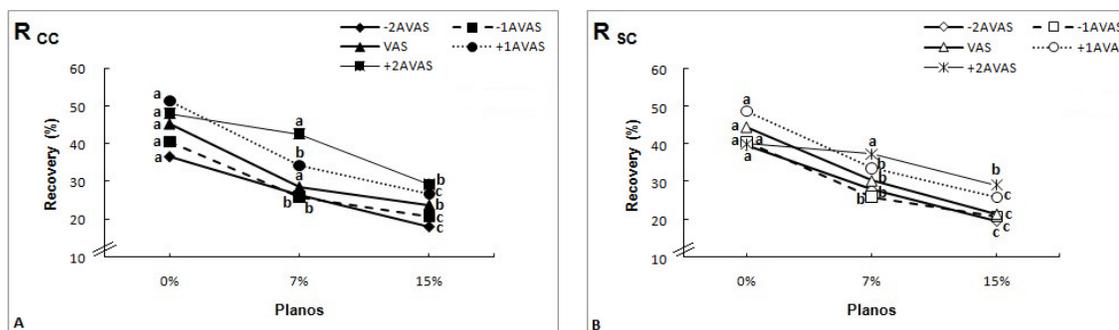


Figura 36. (A) Comportamento do R nos diferentes planos, durante a situação CC e nas diferentes velocidades de caminhada. **(B)** Comportamento do R nos diferentes planos, durante a situação SC e nas diferentes velocidades de caminhada. Letras diferentes representam diferenças estatisticamente significativas entre os planos ($p < 0,05$).

O R também foi comparado entre as situações CC e SC através do teste *T* pareado, os resultados são apresentados na Figura 37, nos diferentes planos e em cada velocidade de caminhada. Os resultados demonstram que independente da

situação dos planos e das velocidades de caminhada, de modo geral, a carga não influencia significativamente o R da caminhada. Os maiores valores de R acontecem geralmente durante a situação SC quando comparada à CC, mas eles não foram significativos. Somente em três situações a carga modificou significativamente o R, a saber: na VAS aos 15% ($p=0,037$), na velocidade de +2AVAS no plano ($p=0,002$) e nos 7% ($p=0,039$), nestas três situações, a caminhada CC teve um R maior quando comparado ao SC.

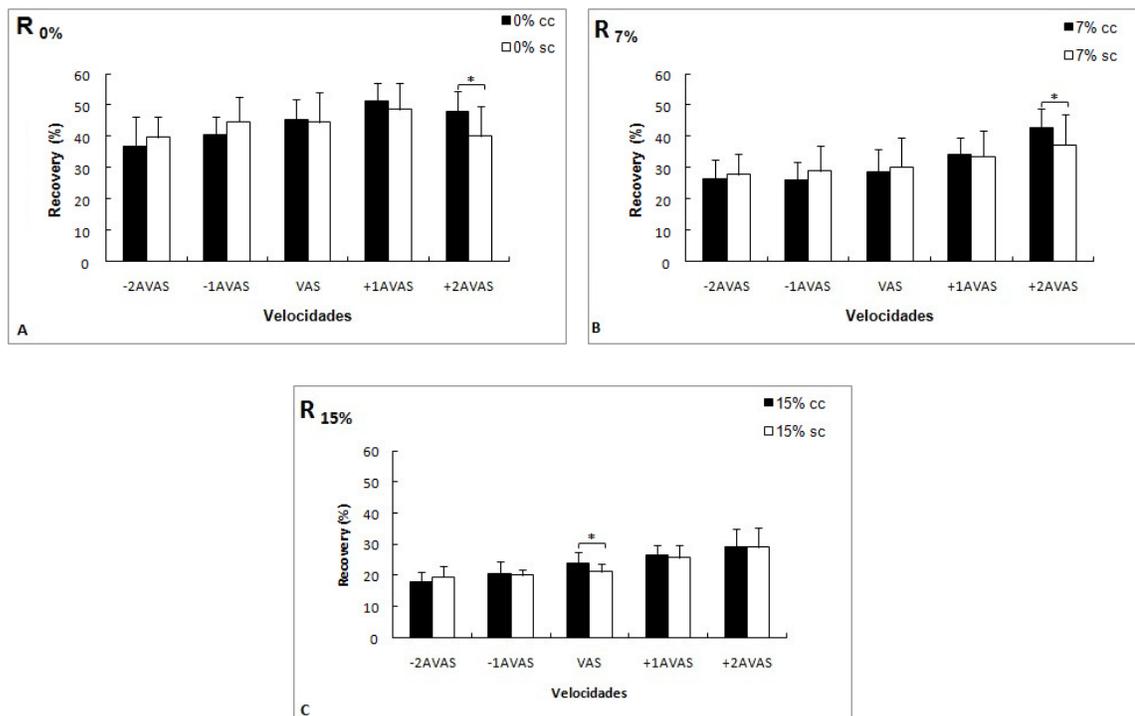


Figura 37. (A) Comportamento do R durante a situação do plano (0%) CC e SC. **(B)** Comportamento do R nos 7% de inclinação CC e SC. **(C)** Comportamento do R nos 15% de inclinação CC e SC. * representa diferenças estatisticamente significativas entre as cargas ($p < 0,05$).

Comportamento da Transdução Pendular Instantânea - R_{int}

O comportamento do R_{int} foi comparado entre os diferentes planos (0%, 7% e 15%), as diferentes situações da carga (Com Carga e Sem Carga) e nas diferentes velocidades de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS). Os efeitos principais nas diferentes situações do R_{int} são apresentados na tabela 14.

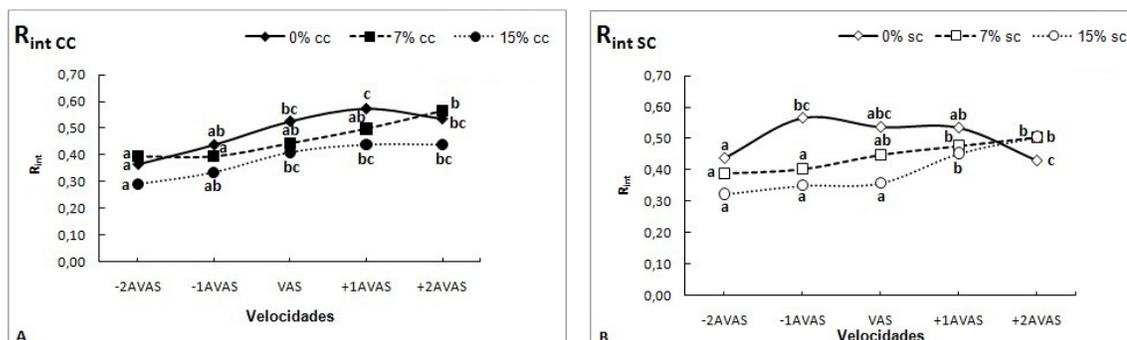
Houve interação significativa entre Planos*Velocidades, Cargas*Velocidades, e também a interação tripla de Planos*Cargas*Velocidades. Em seguida, foi

realizado o desdobramento para testar novamente esses efeitos principais no R_{int} da caminhada.

Tabela 14. Análise da variância dos efeitos principais dos fatores Planos, Cargas e Velocidades, e da Interação Planos*Cargas, Planos*Velocidades, Cargas*Velocidades e Planos*Cargas*Velocidades para o R_{int} . Média e erros padrão do R_{int} nas diferentes situações. * representa diferenças significativas entre os fatores.

Fator	Situação	R_{int}		Sig.
		Média	EP	
Planos	0%	0,49	±0,02	< 0,001
	7%	0,45	±0,01	
	15%	0,39	±0,01	
Cargas	CC	0,44	±0,01	0,481
	SC	0,44	±0,01	
Velocidades	-2AVAS	0,36	±0,01	< 0,001
	-1AVAS	0,41	±0,02	
	VAS	0,45	±0,02	
	+1AVAS	0,49	±0,02	
	+2AVAS	0,49	±0,02	
Planos*Cargas				0,336
Planos*Velocidades				0,002*
Cargas*Velocidades				0,005*
Planos*Cargas*Velocidades				0,011*

O resultado do desdobramento avaliando o fator Velocidades pode ser visualizado na Figura 38. Os resultados do desdobramento demonstram que nas inclinações de 7% e 15% o R_{int} aumenta linearmente com a velocidade em ambas as situações da carga (CC ou SC), mas no plano, o comportamento do R_{int} não é linear.



Posteriormente, foi realizado o desdobramento avaliando os Planos, e eles podem ser observados na Figura 39. Os resultados do desdobramento avaliando os planos de caminhada (0%, 7% e 15%) demonstram que os mesmos afetam significativamente o R_{int} , sendo que independente da situação da carga (CC ou SC) e da velocidade de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) o R_{int} diminui conforme o plano de caminhada aumenta (0%, 7% e 15%).

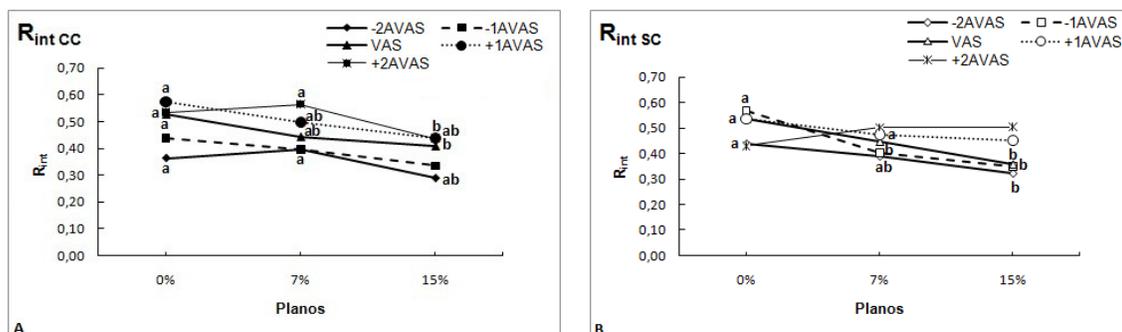


Figura 39. (A) Comportamento do R_{int} nos diferentes planos, durante a situação CC e nas diferentes velocidades de caminhada. **(B)** Comportamento do R_{int} nos diferentes planos, durante a situação SC e nas diferentes velocidades de caminhada. Letras diferentes representam diferenças estatisticamente significativas entre os planos ($p < 0,05$).

Os resultados do teste T pareado para comparação do R entre as situações CC e SC são apresentados na Figura 40, em cada plano bem como, em cada velocidade de caminhada.

Os resultados do R_{int} demonstram que independente da situação do plano e da velocidade de caminhada, de modo geral, a carga não influencia significativamente o R_{int} da caminhada. Como exceção, o R_{int} foi modificado em cinco situações. Em três delas, o R_{int} foi maior durante a situação SC quando comparada à CC, a saber, no plano, durante a velocidade -2AVAS ($p=0,015$), e -1AVAS ($p=0,035$), e nos 15% de inclinação, na velocidade de +2AVAS. Nos outros dois casos, o R_{int} foi maior durante a situação CC quando comparada a SC, a saber, no plano durante a velocidade de +2AVAS ($p=0,023$), e nos 15% durante a VAS ($p=0,037$).

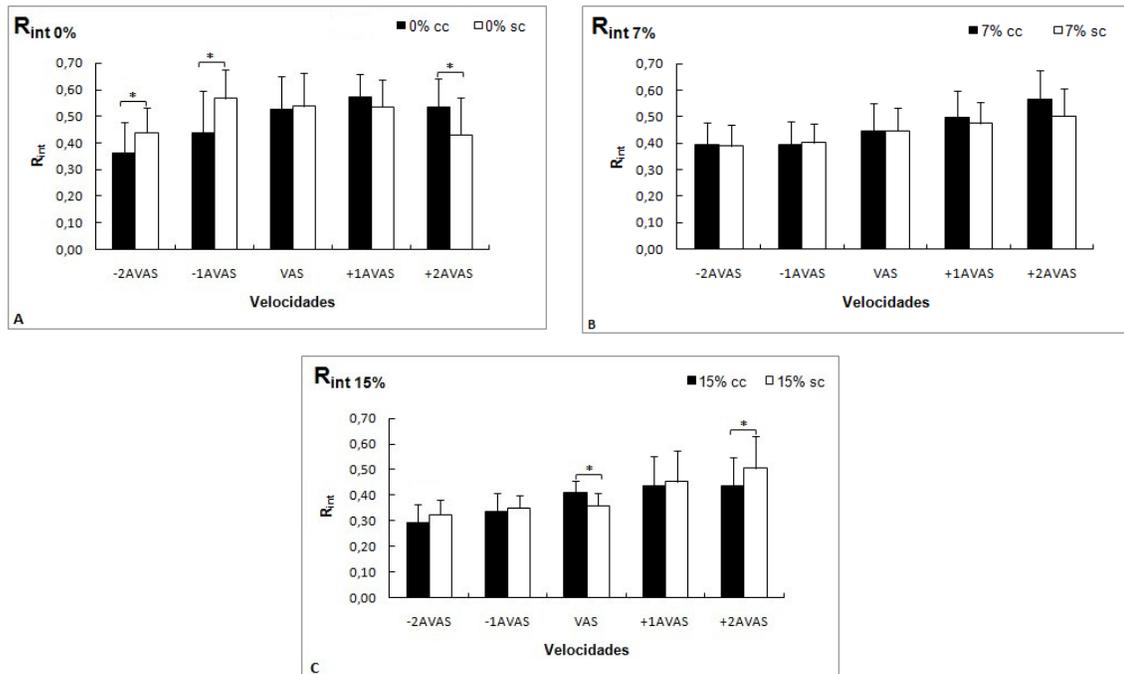


Figura 40. (A) Comportamento do R_{int} durante a situação do plano (0%) CC e SC. **(B)** Comportamento do R nos 7% de inclinação CC e SC. **(C)** Comportamento do R_{int} nos 15% de inclinação CC e SC. * representa diferenças estatisticamente significativas entre as cargas ($p < 0,05$).

Comportamento do Percentual de Congruência - %Cong

O comportamento do %Cong foi comparado entre os diferentes planos (0%, 7% e 15%), as diferentes situações da carga (CC e SC) e nas diferentes velocidades de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS).

Os efeitos principais nas diferentes situações no %Cong são apresentados na tabela 15.

Houve interação significativa entre Planos*Cargas e Planos*Velocidades. Deste modo, foi realizado o desdobramento para testar novamente esses efeitos principais no %Cong da caminhada.

Tabela 15. Análise da variância dos efeitos principais do fator Planos, Cargas e Velocidades, e da Interação Planos*Cargas, Planos*Velocidades, Cargas*Velocidades e Planos*Cargas*Velocidades para o %Cong. Média e erros padrão do %Cong nas diferentes situações. %Cong apresentado em percentual (%). * representa diferenças significativas entre os fatores.

Fator	Situação	%Cong		Sig.
		Média	EP	
Planos	0%	26,80	±2,19	0,001
	7%	32,87	±1,79	
	15%	35,56	±1,37	
Cargas	CC	32,30	±1,56	0,169
	SC	31,29	±1,36	
Velocidades	-2AVAS	34,05	±1,97	<0,001
	-1AVAS	34,87	±1,54	
	VAS	33,32	±1,92	
	+1AVAS	29,36	±1,25	
	+2AVAS	27,11	±1,13	
Planos*Cargas				0,001*
Planos*Velocidades				<0,001*
Cargas*Velocidades				0,548
Planos*Cargas*Velocidades				0,124

O resultado do desdobramento avaliando as velocidades pode ser visualizado na Figura 41. Os resultados avaliando as velocidades demonstram que independente da situação da carga (CC ou SC) e da situação do plano (0%, 7% e 15%), a velocidade modifica significativamente o %Cong, dado que o %Cong diminui conforme aumenta a velocidade de caminhada.

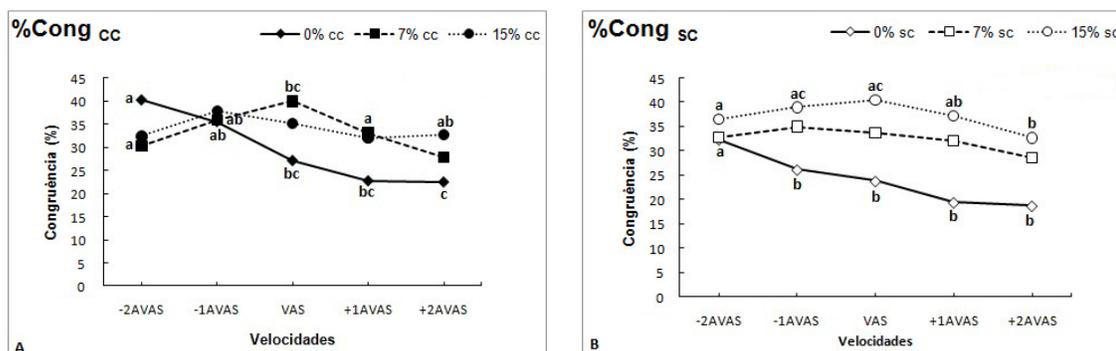


Figura 41. (A) Comportamento do %Cong nas diferentes velocidades CC (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada, (B) %Cong nas diferentes velocidades SC (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%) de caminhada. Letras diferentes representam diferenças estatisticamente significativas entre as velocidades ($p < 0,05$).

O resultado do desdobramento avaliando os planos pode ser visualizado na Figura 42. Os resultados do desdobramento avaliando os diferentes planos de caminhada (0%, 7% e 15%) demonstram que os planos afetam significativamente o %*Cong* sendo que independente da situação da carga (CC ou SC) e da velocidade de caminhada o %*Cong* aumenta conforme incrementa a inclinação do terreno aumenta (0%, 7% e 15%).

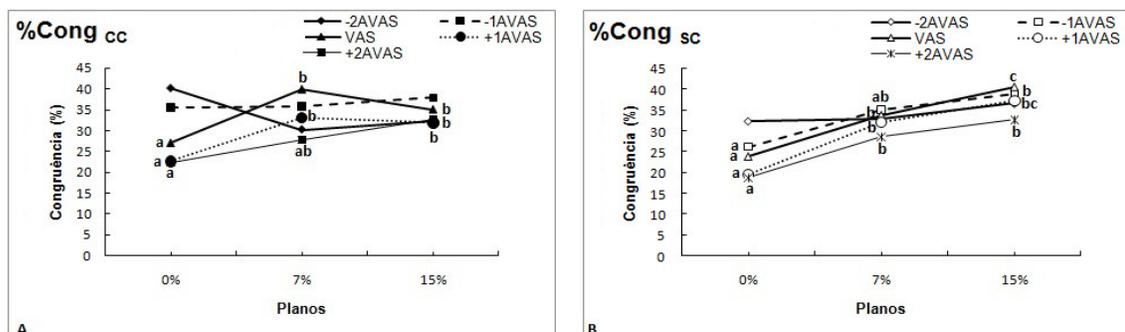


Figura 42. (A) Comportamento do %*Cong* nos diferentes planos, durante a situação CC e nas diferentes velocidades de caminhada. **(B)** Comportamento do %*Cong* nos diferentes planos, durante a situação SC e nas diferentes velocidades de caminhada. Letras diferentes representam diferenças estatisticamente significativas entre os planos ($p < 0,05$).

Os resultados da comparação do %*Cong* nas situações CC e SC são apresentados na Figura 43. Os resultados do %*Cong* no teste *T* pareado demonstram que independente da situação do Plano (0%, 7% ou 15%) e da velocidade de caminhada (-2AVAS, -1AVAS, VAS, +1AVAS, +2AVAS) de modo geral, a carga não influencia significativamente o %*Cong* da caminhada. Como exceção, o %*Cong* foi modificado em 4 oportunidades, em três delas, o %*Cong* foi maior durante a situação CC quando comparada a SC, a saber, no plano (0%), durante a velocidade -2AVAS ($p=0,003$), e -1AVAS ($p=0,035$), e nos 7% de inclinação, na velocidade VAS ($p=0,022$). Por outro lado, o %*Cong* foi maior durante a situação SC quando comparada a CC, e foi durante a velocidade VAS nos 15% ($p=0,003$).

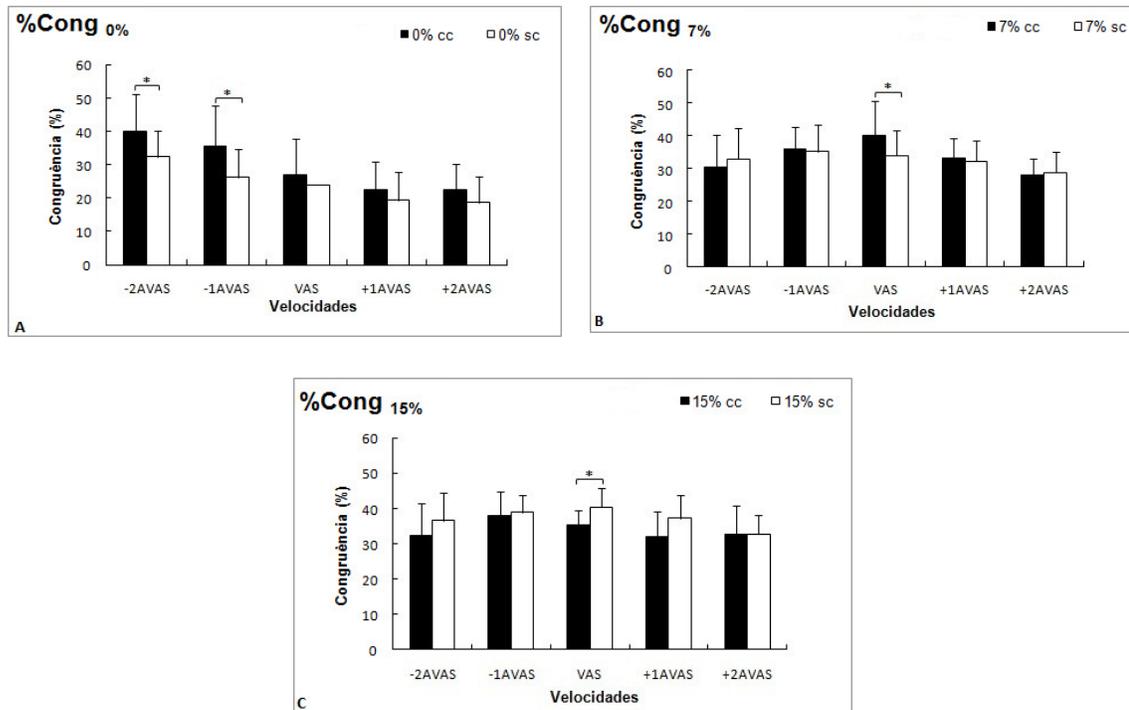


Figura 43. (A) Comportamento do %Cong durante a situação do plano (0%) CC e SC. (B) Comportamento do %Cong nos 7% de inclinação CC e SC. (C) Comportamento do %Cong nos 15% de inclinação CC e SC. * representa diferenças estatisticamente significativas entre as cargas ($p < 0,05$).

Finalizando e a modo de uma melhor compreensão do comportamento do mecanismo pendular, na Figura 44 pode ser observado que com o aumento da velocidade de caminhada o %Cong diminui na medida em que aumenta o R em todos os planos (0%, 7% e 15%), independente da situação da carga (CC ou SC).

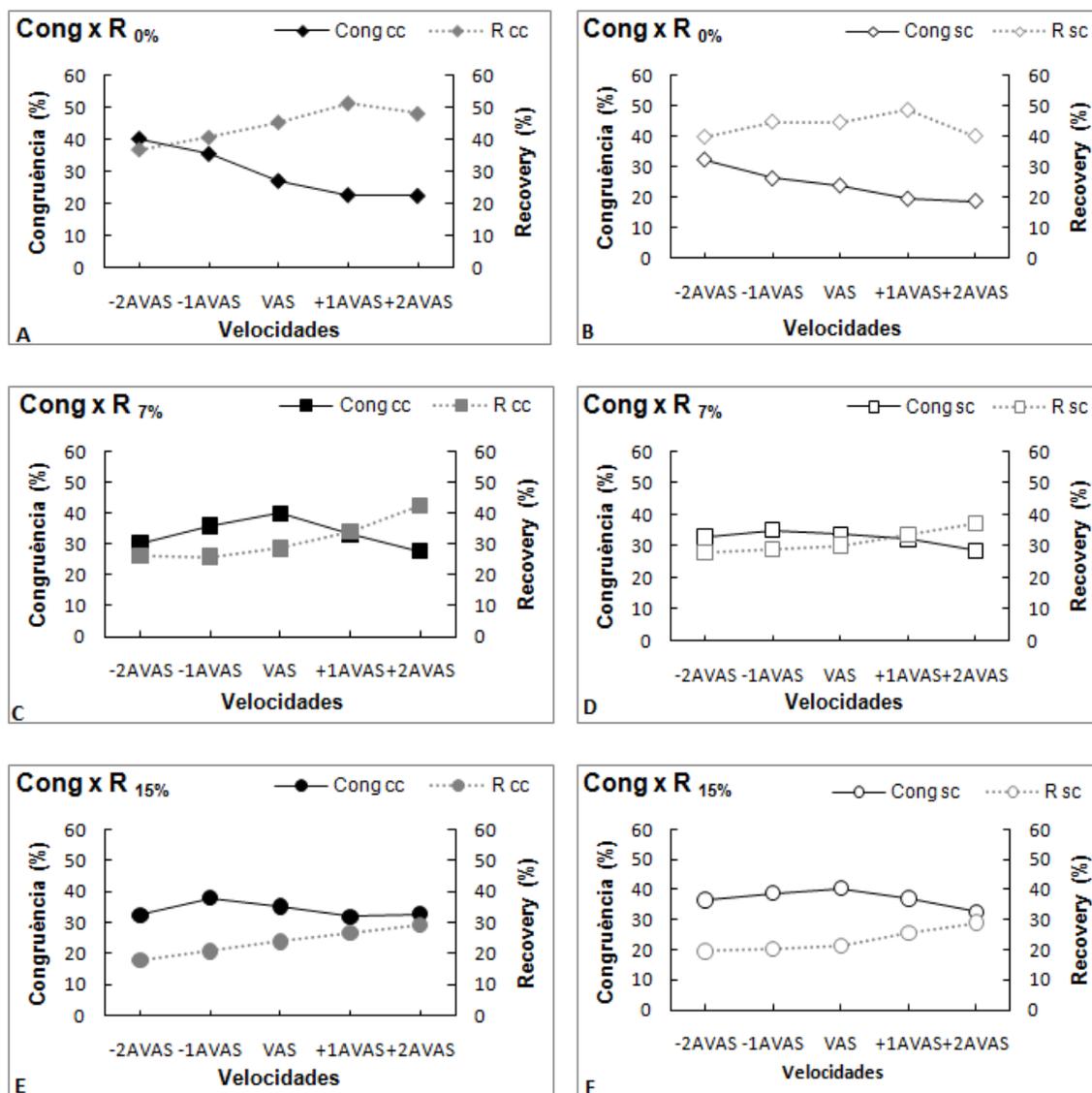


Figura 44. Comportamento do %Cong e do R, nas diferentes velocidades de caminhada CC e SC. **(A)** %Cong x R, no plano (0%) e Com Carga. **(B)** %Cong x R, no plano (0%) e Sem Carga. **(C)** %Cong x R, a 7% de Inclinação e Com Carga. **(D)** %Cong x R, a 7% de Inclinação e Sem Carga. **(E)** %Cong x R, a 7% de Inclinação e Com Carga. **(F)** %Cong x R, a 7% de Inclinação e Sem Carga. O comportamento do %Cong em cor preta e linhas contínuas e o comportamento do R em cor cinza e linhas pontilhadas. Símbolos preenchidos para a situação CC, e símbolos abertos para a situação SC.

A seguir, é apresentado na Tabela 16 um resumo dos resultados do comportamento de cada variável nas diferentes situações analisadas: Velocidades, Planos e Cargas, e também a interação entre esses fatores.

Tabela 16: Resumo do comportamento geral para todas as variáveis avaliadas nas diferentes situações. ↑ representa aumento dos valores da variável. ↓ representa a diminuição dos valores da variável. ↓ ↑ indica que houve uma diminuição e posterior aumento dos valores da variável. ↓ = houve diminuição dos valores e posterior manutenção dos mesmos. = não houve diferença significativa. *p* representa a diferença significativa para cada fator, e a interação significativa entre os fatores. **V*P** representa interação significativa entre as velocidades e os planos. **P*C** representa interação significativa entre os planos e a carga. **C*V** representa interação significativa entre a carga e as velocidades. **P*C*V*** representa interação significativa entre as velocidades, a carga e os planos.

Variáveis		Fator				Interações	
		Velocidades	Planos	Carga	<i>p</i>	Entre:	<i>p</i>
Parâmetros Mecânicos	W_{ext}	↑	↑	=	<0,001	V*P	<0,001
	W_{int}	↑	↓ ↑	=	<0,001	P*C	0,001
	W_{tot}	↑	↑	=	<0,001	///	///
	CP	↑	↓	=	<0,001	P*C P*V	0,001 0,007
	FP	↑	↓ ↑	=	<0,001	P*C P*V	0,028 0,001
Parâmetros Energéticos	P_{met}	↑	↑	↑	<0,001	P*C P*V C*V P*C*V	0,009 <0,001 <0,001 0,038
	C	↓ ↑	↑	↑	<0,001	P*C P*V	0,010 0,021
	Eff	↑	↓ =	↓	<0,001	P*V	0,001
	$V_{ótima}$	///	↓	=	<0,001	///	///
Mecanismo Pendular	R	↑	↓	=	<0,001	P*V C*V P*C*V	0,002 <0,001 0,031
	R_{int}	↑	↓	=	<0,001	P*V C*V P*C*V	0,002 0,005 0,011
	%Cong	↓	↑	=	0,001	P*C P*C	0,001 <0,001

5. DISCUSSÃO

O objetivo geral deste trabalho foi comparar o comportamento do mecanismo pendular (R , R_{int} , %Cong), dos parâmetros mecânicos (W_{ext} , W_{int} , W_{tot} , CP, FP) e energéticos (P_{met} , C, Eff, $V_{ótima}$) durante a caminhada com carga no plano, nas inclinações (+7% e +15%) e em distintas velocidades de caminhada (VAS, +1AVAS, +2AVAS, -1AVAS e -2AVAS).

Com este intuito, em um primeiro momento serão discutidos os parâmetros mecânicos e energéticos, (e.g. W_{ext} e C) os quais sustentam as bases da teoria da mecânica e energética da locomoção humana, e, em seguida serão respondidas as hipóteses propostas na dissertação.

5.1. Aspectos mecânicos da locomoção com carga e inclinação

A partir da literatura consultada, os diferentes autores avaliaram as variáveis de interesse durante a situação da caminhada no plano com carga em distintas velocidades (BASTIEN, WILLEMS *et al.*, 2005; CAVAGNA *et al.*, 2002), ou durante diferentes velocidades de caminhada em inclinações (ARDIGÒ, SAIBENE *et al.*, 2003; GOTTSCHALL e KRAM, 2005; MINETTI, ARDIGÒ *et al.*, 1993; MINETTI e ARDIGÒ, 2001) e não de forma conjunta a interação da carga*inclinação*velocidade sobre a mecânica e energética da locomoção humana. Além disso, para nosso conhecimento, o mecanismo pendular não foi estudado extensivamente em diferentes inclinações com carga.

O trabalho muscular necessário para elevar e acelerar o CM corporal durante a caminhada, W_{ext} , aumentou com o incremento da velocidade e inclinação do terreno, em concordância com os dados de Minetti e colaboradores (1993) para a caminhada no plano e nas inclinações e, também estão em concordância com os achados de Willems (1995), Saibene e Minetti (2003), Schepens *et al.* (2003) e Ortega (2005) referentes às velocidades de caminhada no plano e sem carga. De forma similar, o W_{ext} durante a caminhada carregada no plano coincide com os valores obtidos pelo grupo caucasiano na tese de Bastien (2005), os quais aumentavam com o acréscimo da velocidade.

O W_{ext} é reduzido devido às trocas de energia potencial gravitacional e cinética do CM, mecanismo este denominado como pendular. No presente estudo o W_{ext} é mantido nas situações inclinadas (nos 7% e 15%) com e sem carga (Figura 11B e C). Reduções mais importantes do W_{ext} foram encontradas em mulheres

africanas caminhando com carga no plano (HEGLUND, FEDAK *et al.*, 1995; CAVAGNA *et al.*, 2002). Possivelmente, esta estratégia de redução do W_{ext} por via pendular acontece nas inclinações em sujeitos não habituados ao transporte de cargas. De fato, na seção 5.3 discutir-se-á o papel do mecanismo pendular nas inclinações.

Do mesmo modo, o trabalho muscular necessário para acelerar os segmentos corporais em relação ao CM, W_{int} , aumentou significativamente com aumento da velocidade de caminhada (Figura 13), independente do plano (0%, 7% e 15%) e da situação da carga (CC e SC), devido à necessidade de maior e mais rápida oscilação dos membros superiores e inferiores e, conseqüente aumento das variações de EK segmentares em relação ao CM. Esses achados estão em concordância com a literatura em relação ao aumento do W_{int} com o incremento da velocidade. No entanto, diferem dos valores de W_{int} durante caminhada a 15% de inclinação (MINETTI, ARDIGÒ *et al.*, 1993) e no plano (WILLEMS *et al.*, 1995; SCHEPENS *et al.*, 2003) os quais atingiram valores próximos a $0,55 \text{ J.kg}^{-1}.\text{m}^{-1}$ versus $0,15 \text{ J.kg}^{-1}.\text{m}^{-1}$ nas altas velocidades de caminhada (5 e 6 km.h^{-1}). Não obstante, foram próximos dos valores de W_{int} em várias inclinações reportados recentemente em uma amostra de 70 sujeitos (NARDELLO, ARDIGÒ *et al.*, 2011) nas altas velocidades de caminhada.

Assim como a velocidade de progressão, a influência da inclinação do terreno no W_{int} é controversa na literatura. Estudos mais antigos (MINETTI, ARDIGÒ *et al.*, 1993; 2001; ARDIGÒ, SAIBENE *et al.*, 2003), demonstram que o W_{int} é independente da inclinação enquanto que no estudo recente de Nardello e colaboradores (2011) o W_{int} aumentou significativamente conforme o acréscimo da inclinação (0, 5 e 10%) e diminuiu aos 15%, de modo similar ao presente estudo. Provavelmente as discrepâncias dos resultados de W_{int} apresentados anteriormente, sejam relacionadas às diferentes tabelas antropométricas utilizadas para a determinação dos CM, raio de giração e massa segmentares.

Nos estudos anteriores, como os de Minetti, Ardigò *et al.* (1993, 1994) foram utilizadas as tabelas antropométricas de Dempster (1959) para homens, com dados advindos de cadáveres e, mais recentemente, Nardello, Ardigò *et al.* (2011) utilizaram as tabelas de Winter (2005) para os homens e as tabelas de Leva (1996) e Zatsiorsky *et al.* (1990) para as mulheres.

Diferentemente dos estudos anteriores, no presente estudo foram utilizados os parâmetros antropométricos advindos das tabelas de Zatsiorsky (1998), por empregar dados de indivíduos vivos, homens, jovens e saudáveis, similares aos escolhidos para este estudo. Além disso, em um estudo anterior (GOMEÑUKA *et al.*, 2009), observou-se que a determinação dos parâmetros inerciais dos segmentos corporais a partir de diferentes tabelas antropométricas induz a uma diferença de até 30% nos valores de trabalho mecânico, devido a diferenças na constituição das massas corporais de cadáveres humanos em comparação à situação *in vivo* (atletas ou sedentários). Deste modo, o uso de tabelas antropométricas específicas ao grupo avaliado, como no presente estudo, pode explicar de modo importante as diferenças encontradas entre os resultados da literatura e do presente estudo.

Do mesmo modo que na situação sem inclinação, o W_{int} é independente da carga, concordando com o comportamento encontrado em caucasianos no plano (e.g. 0,30 J.kg⁻¹.m⁻¹ a 4 km.h⁻¹) na tese de Bastien (2005).

Além disso, o somatório dos módulos do trabalho mecânico externo e interno, W_{tot} , ao ser analisado na caminhada e nas inclinações no presente estudo, com e sem carga e em distintas velocidades, coincidem com os resultados determinados por autores anteriores durante as diferentes velocidades de caminhada sem carga no plano (WILLEMS, 1995; SCHEPENS *et al.*, 2003; MIAN *et al.*, 2006; CAVAGNA 2010) e com carga (BASTIEN, 2005).

Analisando a distancia horizontal percorrida durante uma passada, CP, os resultados do plano indicam que o mesmo aumenta conforme incrementa a velocidade de caminhada (Figura 18), em concordância com outros autores (PEYRÉ TARTARUGA, 2008; KAVANAGH *et al.*, 2009; PEYRÉ TARTARUGA e GOMEÑUKA, 2010).

Em relação à variação da velocidade da caminhada dos indivíduos, sabe-se que esta provoca mudanças sistemáticas em parâmetros temporais, cinemáticos e cinéticos do membro inferior (KAVANAGH *et al.*, 2009). Deste modo, o incremento do CP se configura como uma resposta do sistema locomotor ao aumento da velocidade.

Destaca-se também, ao avaliar o CP nas diferentes inclinações (Figura 19), que o mesmo diminui de forma inversamente proporcional ao aumento da inclinação, concordando com McIntosh e colegas (2006) em inclinações de 8º e 10º e com nosso estudo anterior (PEYRÉ TARTARUGA e GOMEÑUKA, 2010).

Por outro lado, o CP não é influenciado pela carga nas situações estudadas (Figura 20). É provável que exista uma dependência da carga em situações extremas, pois o CP diminuiu em sujeitos carregando 40% de sua massa corporal possivelmente resultante das mudanças na coordenação do tronco durante a locomoção carregada no plano (LaFIANDRA *et al.*, 2002). Do mesmo modo, as variáveis espaço temporais são influenciadas pelo modo de transporte, mais especificamente, pela posição da carga carregada (SARRAF, 2006).

Não obstante, pode-se salientar, de que além dos estudos anteriormente citados, faltam estudos que avaliem o CP nas inclinações, dado que até o momento, a maioria dos estudos compara as mudanças do CP devido ao transporte de cargas e aos diferentes posicionamentos desta durante a caminhada no plano, e não em inclinação.

Analisando, o número de passadas realizadas por segundo, FP, nas diferentes velocidades (Figura 21), os resultados demonstram que a FP aumenta com o incremento da velocidade de caminhada, independente da carga e da inclinação, concordando com outros estudos anteriores (MINETTI, 1998; SAIBENE e MINETTI, 2003; MIAN *et al.*, 2006) para a caminhada no plano.

Outra vez, os resultados evidenciam que a carga não modifica a FP da caminhada (Figura 23), em concordância com Xu e colaboradores (2009), que relataram que não houve diferença entre a caminhada sem carga e com carga de 22,5 kg transportada em mochila.

Enfim, nas inclinações (7% e 15%), a FP foi menor de modo geral do que durante as caminhadas no plano (Figura 22), em concordância com Peyré Tartaruga (2008) nas inclinações de 5%, 10% e 15%. Mais especificamente, a FP foi menor nos 7% de inclinação do que no plano e 15%, possivelmente devido às adaptações efetuadas pelo sistema locomotor em resposta a esta inclinação intermediária. Especula-se que esse *minimum* de FP aos 7% de inclinação (Figura 22) esteja relacionado a duas estratégias básicas de adaptação mecânica nesta situação: i) nas baixas inclinações, como a 7%, ainda pode ser aproveitada a energia cinética horizontal e, portanto, o aumento do CP, com a conseqüente diminuição da FP se caracterize como uma estratégia de minimização de energia. Por exemplo, uma repercussão direta desta estratégia é observada nas respostas de W_{int} (vide figura 14); ii) nas inclinações maiores, por exemplo a 15%, devido ao alto custo de deslocamento vertical e sua respectiva variação de energia potencial, o sistema

locomotor limita o CP e, conseqüentemente aumenta a FP nestas situações, de modo a minimizar o custo energético predominantemente de origem vertical nestas situações (MINETTI, 1995). Achados anteriores apresentaram uma tendência de aumento da FP com o acréscimo da inclinação (3º, 6º e 9º), durante a velocidade auto selecionada de caminhada (4,5 km.h⁻¹; GOTTSCHALL e KRAM, 2006).

É importante destacar que inicialmente, a inclusão de testes de caminhada a 7% de inclinação objetivou proporcionar informações sobre as mudanças dos padrões mecânicos em inclinações intermediárias, dado que normalmente são estudadas as situações extremas da locomoção (e.g. caminhada acima de ±15% de inclinação, MINETTI *et al.*, 2006, MINETTI *et al.*, 2002), e não é conhecido como acontecem as adaptações mecânicas da locomoção antes que o aparelho locomotor estabeleça ou defina a melhor estratégia para superar essa inclinação.

5.2. Aspectos energéticos da locomoção com carga e inclinação

Conforme anteriormente relatado, o objetivo geral do presente estudo foi analisar os parâmetros energéticos da caminhada, tendo em consideração que do ponto de vista integrativo, nem os parâmetros mecânicos ou os parâmetros energéticos separadamente, podem explicar integralmente o fenômeno da locomoção, por exemplo, acerca do mecanismo pendular.

Em relação ao comportamento da P_{met} nas diferentes velocidades deste estudo (Figura 24), foi demonstrado que a mesma aumenta com o acréscimo da velocidade de caminhada, em concordância com outros autores (DeJAEGER *et al.*, 2001; SCHEPENS *et al.*, 2003), tanto para crianças quanto para adultos durante a caminhada no plano sem carga e em diferentes velocidades, e com o transporte de cargas em mochilas (BASTIEN, WILLEMS *et al.*, 2005). De modo geral, a P_{met} tem um comportamento em forma de “U” em função da FP, com o valor mínimo localizado na velocidade auto-selecionada de caminhada (HOGBERG, 1952, MINETTI, CAPELLI *et al.*, 1995, UMBERGER e MARTIN, 2007).

Também, a P_{met} é modificada com as diferentes inclinações (7% e 15%) aumentando com incremento do plano de caminhada, coincidindo com estudos anteriores (MARGARIA, 1968; MINETTI, ARDIGÒ *et al.*, 1993; ARDIGÒ e SAIBENE, 2003).

Neste sentido, é possível compreender esse incremento da P_{met} nas diferentes velocidades e inclinações (Figuras 24 e 25), se entendemos que os músculos agem como os motores da locomoção, com ações de frenagem e propulsão, e também como suporte durante a fase de apoio da caminhada. Deste modo, é aceitável que esse incremento na P_{met} seja devido ao incremento dos músculos ativos tanto concêntrica, como isometricamente ao equilibrar o deslocamento do corpo no plano e nas inclinações (GRIFFIN, ROBERTS *et al.*, 2003; PEYRÉ TARTARUGA, 2008).

Por outro lado, os resultados demonstram que a P_{met} é influenciada pela carga (Figura 27), sendo maior durante a locomoção carregada quando comparada à sem carga.

É importante destacar, que a P_{met} mensurada no presente estudo foi a P_{met} corporal, correspondente à P_{met} despendida pelos músculos para transportar a massa extra e normalizado pela MC (P_{met} corporal = MC + 25% da massa corporal/MC). Contudo, quando se observa a P_{met} total, correspondente à P_{met} despendida para transportar uma massa extra e normalizado pela massa total (MC + 25% da massa da carga/ M_{tot}), não se verificam efeitos significativos da carga (Figura 27), nas diferentes situações analisadas, em concordância com outros autores (GRIFFIN *et al.*, 2003; BASTIEN, WILLEMS *et al.*, 2005).

Estudos anteriores relataram que a P_{met} ($W.kg^{-1}$) é independente da carga, durante a situação de repouso em pé e suportando cargas de até 60% da MC. Posteriormente, a taxa de consumo de O_2 aumenta proporcionalmente com a carga carregada nas diferentes velocidades (GRIFFIN *et al.*, 2003; BASTIEN, 2005).

A P_{met} de repouso em pé, deste trabalho foi de 1,60 (\pm 0,35) $W.kg^{-1}$ coincidente com estudos anteriores (DeJAEGER, WILLEMS *et al.*, 1995; BASTIEN 2005) e, ao subtrair a P_{met} durante o exercício pela P_{met} de repouso respectiva (com ou sem carga) em pé, o consumo metabólico representa simplesmente o gasto advindo da locomoção (P_{met} corporal). A P_{met} de repouso não se modificou com adição da carga. Concordando com o estabelecido anteriormente, de que ao subtrair da M_{tot} a massa da carga, cada quilo de massa extra carregada consome aproximadamente a mesma quantidade de energia em W durante a caminhada no plano (DeJAEGER, WILLEMS *et al.*, 1995; BASTIEN, 2005) e, no presente estudo, observou-se o mesmo comportamento nas inclinações de 7% e 15%.

O dispêndio energético (VO_2) realizado para percorrer uma determinada distância, C, em inclinações foi analisado pela primeira vez por Margaria em 1938, e tem sido amplamente estudado desde então.

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento do C nas diferentes situações (inclinações e cargas) em sujeitos não adaptados. Além disso, avaliou-se o comportamento do C nas diferentes inclinações (7% e 15%) e nessas condições aliado à situação com carga, a velocidade referente ao menor C permanecia igual, tal como na caminhada no plano (BASTIEN *et al.*, 2005).

Em relação aos dados do C nas diferentes velocidades (Figura 28, letras minúsculas), houve um menor dispêndio energético na velocidade auto selecionada de caminhada, tanto no plano como nas inclinações (7% e 15%), em concordância com os estudos anteriores relativos à situação no plano em crianças (DeJAEGER, WILLEMS *et al.*, 2001), em adultos (ORTEGA *et al.*, 2005), e em idosos (MIAN *et al.*, 2006), e durante a caminhada com carga no plano (BASTIEN, WILLEMS *et al.*, 2005; ABE *et al.*, 2004; 2008; WEYAND, 2010).

A respeito do C nas diferentes inclinações (0%, 7% e 15%), houve aumento com o acréscimo da inclinação (Figura 28, letras maiúsculas, e Figura 30) atingindo valores mínimos de $6,47 \pm 0,16 \text{ J.kg}^{-1}.\text{m}^{-1}$ na velocidade de 3 km.h^{-1} nos 15% de inclinação, e coincidindo com resultados anteriores (MARGARIA, 1968; MINETTI e ARDIGÒ, 2001; MINETTI *et al.*, 2002). Além disso, é importante salientar que o C da locomoção carregada nas inclinações de 7% e 15% tem o comportamento similar ao plano, afirmação que até o momento é desconhecida na literatura consultada.

Finalmente, foi constatado que o C é modificado pela carga (Figura 29), sendo maior durante a locomoção carregada, quando comparado à sem carga, nas diferentes situações analisadas, corroborando estudos anteriores de adultos saudáveis e montanhistas caucasianos da caminhada no plano, carregando cargas de até 75% da sua MC (ABE *et al.*, 2004; 2008; BASTIEN, SCHEPENS *et al.*, 2005b).

Kramer e colaboradores (2010), afirmaram que nem todas as pessoas apresentam um aumento proporcional do C com o aumento da massa de carga, e, deste modo, têm se observado que alguns indivíduos acostumados com o carregamento de cargas (e.g. carregadores nepaleses e mulheres africanas) podem realizar passos energeticamente mais eficientes, os quais permitem a realização do transporte de cargas com pouco ou nenhum aumento no gasto energético (MALOIY

et al., 1986; HEGLUND *et al.*, 1995; CAVAGNA *et al.*, 2002; BASTIEN, SCHEPENS *et al.*, 2005b).

Ainda, cabe salientar que os achados do presente estudo confirmam uma das hipóteses propostas inicialmente neste trabalho, na qual afirma que o C da locomoção carregada nas inclinações seria maior quando comparada às situações sem carga, dado que o C da caminhada carregada a 15% teve um C três vezes maior que na caminhada sem carga a 15% (Ver Figura 30). Mas, este fato é tratado com mais profundidade no item 5.4 da discussão.

Conjuntamente com as variáveis analisadas anteriormente, podemos perceber que o sistema locomotor é um aparelho com alto grau de adaptação aos requerimentos impostos pelo ambiente, e na busca da superação desses desafios procura constantemente a resposta mais econômica (e.g. as adaptações do C com carga durante a caminhada no plano e nas inclinações).

A eficiência de locomoção, Eff, definida anteriormente por Margaria (1938) como a fração da P_{met} que é transformada em W_{mec} durante a locomoção, foi mensurada e comparada extensivamente tanto na caminhada como na corrida.

Os resultados avaliando o efeito das velocidades sob a Eff (Figura 31) do presente estudo demonstram que a mesma é influenciada pela velocidade de progressão, a qual aumenta com o acréscimo da velocidade de caminhada, em concordância com outros autores durante a locomoção no plano e sem carga em crianças (SCHEPENS *et al.*, 2001), adultos (WILLEMS *et al.*, 1995) e idosos (MIAN *et al.*, 2006).

Ao mesmo tempo, a Eff foi modificada nos diferentes planos de caminhada (Figura 32), diminuindo conforme o aumento da inclinação (7% e 15%), em concordância com um estudo anterior que avaliou a Eff em inclinações de 0 à $\pm 30\%$ (MINETTI e ARDIGÒ, 2001). Do mesmo modo, foi estabelecido que a Eff da caminhada em gradientes positivos atinge o máximo valor de 0,25, e representa a predominância do W_{mec} positivo (contrações musculares concêntricas) realizado para elevar o CM. No sentido contrário, durante a caminhada em gradientes negativos (acima de -15%), a Eff é de 1,25, e denota a predominância do W_{mec} negativo (contrações musculares excêntricas) realizado pelo CM nestas situações. A Eff durante as caminhadas SC diminuiriam com o aumento da inclinação, atingindo valores de até 0,25 durante os 15% de inclinação da caminhada SC concordando

com os achados anteriores (MINETTI, ARDIGÒ *et al.*, 1993; 1994; MINETTI e ARDIGÒ, 2001).

A Eff apresentou um comportamento diferenciado em relação à carga nas inclinações (Figura 33), durante a caminhada CC houve incremento da Eff entre 0% e 7%, e logo uma diminuição de 7% para 15% de inclinação, nas baixas velocidades de caminhada (-2AVAS e -1AVAS). Diferente da situação anterior, na caminhada SC, a Eff apresentou uma diminuição de 0 a 7%, e manteve-se semelhante aos 7% e 15% de inclinação nas altas velocidades de caminhada (VAS, +1AVAS e +2AVAS). Provavelmente esse comportamento diferenciado é resultado de uma adaptação mecânica realizada pelo sistema locomotor na inclinação de 7%, que aumenta a sua Eff em baixas velocidades de caminhada com carga a fim de conter o aumento da P_{met} (ver Figura 26).

Em populações adaptadas às situações de carga e inclinação, foi estabelecido que durante a caminhada com carga a 22% de inclinação, carregadores nepaleses apresentavam uma maior Eff durante a subida quando comparada com montanhistas caucasianos (MINETTI, FORMENTI *et al.*, 2006; PEYRÉ TARTARUGA, 2008), acredita-se que seja devido às propriedades mecânicas de contração muscular, especificamente à relação potência-velocidade, e ao menor C dos nepaleses (PEYRÉ TARTARUGA e GOMEÑUKA, 2010), relacionado à alta especialização desta população acostumada ao carregamento de cargas em situações de hipóxia na altitude. Estes mecanismos poderiam ser dependentes da velocidade de caminhada selecionada pelos dois grupos. Em ambos os estudos citados anteriormente, os sujeitos caminhavam em velocidades auto selecionadas sendo que os nepaleses caminhavam 33% mais rápido do que os caucasianos. Não obstante este efeito da especialização em transporte de cargas, os sujeitos do presente estudo melhoraram a Eff aos 7% em relação ao plano nas baixas velocidades.

Finalizando, a análise dos efeitos da carga a respeito da Eff (Figura 33) foi determinado que a carga modificou a Eff da locomoção, sendo esta menor durante as situações CC quando comparada às SC. Em coincidência com outros achados em sujeitos caucasianos (BASTIEN, 2005), que apresentavam uma diminuição da Eff durante a caminhada com carga transportada em mochilas. Entretanto, discorda de outro estudo que avaliou a Eff de locomoção durante a caminhada no plano, carregando cargas (0, 10, 20 e 30% da MC) posicionadas simetricamente na cintura,

não encontrando mudanças na Eff (em velocidades de até 5,4 km.h⁻¹, GRIFFIN *et al.*, 2003). No estudo de Griffin a componente mecânica da Eff foi contabilizada apenas na sua contraparte externa e, como pode-se observar neste estudo, a contraparte interna do trabalho total é dependente da velocidade no plano.

Do mesmo modo às variáveis anteriores, a literatura procura compreender a velocidade de caminhada na qual acontece o menor dispêndio energético da locomoção, nomeadamente $V_{ótima}$. Assim, foi observado que a $V_{ótima}$ acontece aproximadamente a 4,5 km.h⁻¹, coincidindo com o máximo percentual de R.

Um dos objetivos deste estudo foi avaliar a $V_{ótima}$ da caminhada com carga em inclinações (7% e 15%), e analisar seu comportamento em base da teoria da mecânica e energética da locomoção humana.

Surpreendentemente, os resultados evidenciam que a $V_{ótima}$ nos 7% e 15% de inclinação é independente da carga, de maneira similar a situação no plano (Figura 34).

A $V_{ótima}$ da caminhada sem carga no plano (0%) deste trabalho foi aproximadamente 4,4 km.h⁻¹, corroborando com estudos anteriores, onde a $V_{ótima}$ apresenta comportamentos similares em crianças, jovens e adultos (CAVAGNA, MARGARIA *et al.*, 1963, CAVAGNA, THYS *et al.*, 1976; MARGARIA 1968; DeJAEGER, WILLEMS *et al.*, 2001) e em idosos (MIAN *et al.*, 2006) devido à ação do mecanismo pendular.

Em relação à $V_{ótima}$ da locomoção carregada, os resultados confirmam estudos anteriores que utilizaram diferentes cargas (3, 6 e 9 kg) transportadas na parte superior ou inferior do corpo, e determinaram que a $V_{ótima}$ não é alterada com o transporte de cargas em terreno plano (ABE *et al.*, 2004; 2008).

O comportamento da $V_{ótima}$ com carga no plano, foi melhor compreendido através dos resultados obtidos por Bastien e colaboradores (2005). Este estudo comprovou que a $V_{ótima}$ da caminhada no plano acontece aproximadamente a 4,5 km.h⁻¹ e é sustentada com cargas de 0% até 75% da MC (Vide figura 4). Os resultados do presente estudo coincidiram com o estudo anterior, dado que a carga selecionada foi de 25% da MC dos sujeitos, a qual se encontra entre as cargas estudadas por Bastien.

Na locomoção em gradientes, a maioria dos estudos analisa o efeito do C nas diferentes inclinações utilizando apenas a velocidade auto selecionada de caminhada (Figura 30; MINETTI, ARDIGÒ *et al.*, 1993; MINETTI e ARDIGÒ, 2001;

MINETTI *et al.*, 2002; ARDIGÒ, SAIBENE *et al.*, 2002). Assim, a literatura tem extenso conhecimento de que a $V_{\text{ótima}}$ no plano acontece a aproximadamente 4,5 km.h⁻¹, e que a inclinação ótima da caminhada sem carga ocorre a -10% de inclinação (MARGARIA 1938; MINETTI, ARDIGÒ *et al.*, 1993). Apesar disso, nos estudos referenciados, ainda não foi determinado se o comportamento da $V_{\text{ótima}}$ nas inclinações pode ser alterado com o transporte de cargas na caminhada.

Deste modo, a partir dos resultados obtidos no presente estudo (Figura 34), foi possível comprovar que há uma $V_{\text{ótima}}$ nas inclinações de 7% e 15% que ocorre aproximadamente aos 3,4 km.h⁻¹ e, além disso, essa $V_{\text{ótima}}$ é independente da carga. Portanto, a hipótese inicial da presente dissertação foi parcialmente refutada. Posteriormente as repercussões de outras variáveis que compõem esta hipótese, serão discutidas integralmente no item 5.4 da discussão.

5.3. O mecanismo pendular existe nas inclinações

O mecanismo minimizador de energia da caminhada humana (pêndulo invertido) tem sido estudado na literatura, analisando o comportamento das variáveis que quantificam este mecanismo: o *recovery* (R), a transdução pendular instantânea do passo (R_{int}) e o percentual de congruência (%Cong).

O percentual de transferência entre a energia potencial e a energia cinética do cento de massa durante uma passada (R), foi afetado pela velocidade (Figura 35), e atinge o máximo de reconversão nas altas velocidades de caminhada (+1AVAS ou 5 km.h⁻¹), em concordância com estudos anteriores a respeito do R no plano e sem carga (WILLEMS *et al.*, 1995; SCHEPENS, BASTIEN *et al.*, 2003; ORTEGA e FARLEY, 2005; MIAN *et al.*, 2006) e durante a caminhada com carga no plano (BASTIEN, WILLEMS *et al.*, 2005), os quais determinaram que o R aumenta com o acréscimo da velocidade de caminhada, alcançando seu máximo durante a $V_{\text{ótima}}$ da caminhada no plano, aproximadamente a 4,5 km.h⁻¹. Nas inclinações (7% e 15%) o R aumentou linearmente com o acréscimo da velocidade, alcançando seu máximo na velocidade mais alta de caminhada (+2AVAS ou 5 km.h⁻¹). Deste modo, a $V_{\text{ótima}}$ na inclinação não é totalmente explicada pelo mecanismo pendular, diferentemente do plano. Embora o R apresente valores significativos, o mesmo não explica de modo determinante o comportamento do C nas altas velocidades de caminhada com e sem carga nas inclinações de 7 e 15%. Provavelmente outros fatores que não

incidem no custo de geração de trabalho muscular (e.g. controle postural e co-contracção muscular; PEYRÉ TARTARUGA, 2008), exercem influencia importante nesta situação.

Destaca-se que o R é modificado nas inclinações (Figura 36), e diminui conforme a inclinação do terreno aumenta (0%, 7% e 15%) em todas as condições analisadas. Contudo, pode-se salientar, que em ambas as situações da carga (CC ou SC) o percentual de R nos 15% de inclinação ainda é relevante (30%), em coincidência com um estudo anterior que analisou o comportamento do mecanismo pendular da caminhada em inclinações e sem carga. Neste estudo o R diminuiu com o acréscimo da inclinação positiva, atingindo $20 \pm 5\%$ de reconversão durante a caminhada a 15% de inclinação, entretanto, este achado não foi discutido (MINETTI e ARDIGÒ, 2001). A diminuição do R conforme aumenta a inclinação, provavelmente seja uma consequência da diminuição da EK ($0,5.MC.v^2$), dado que a totalidade do W_{ext} que é executado nos 15% de inclinação é resultado predominante do aumento da EP ($MC.g.\Delta h$) necessária para elevar o CM durante a caminhada nesta inclinação (15%).

Conforme ao estabelecido anteriormente, durante a locomoção em subida, a para uma dada fração extra de W_{ext}^+ (aceleração e elevação do CM) uma quantidade correspondente de W_{ext}^- (frenagem e descida do CM) não necessário deve ser realizada (MINETTI, 1995). Deste modo, para evitar o desperdício de energia metabólica e reduzir as flutuações de velocidade, o CM deve proceder com uma trajetória monotonicamente ascendente (durante a caminhada em subida), principalmente para aproveitar a pouca contribuição advinda da EK para o W_{ext} nestas condições (MINETTI, ARDIGÒ *et al.*, 1993; 1994; MINETTI, 1995; MINETTI, *et al.*, 2002). Ainda, esse estudo destaca que na faixa de $\pm 15\%$ a ineficácia do mecanismo pendular depende principalmente da estrutura esquelética, que obriga ao CM se movimentar ao longo de um arco circular (MINETTI, 1995).

Os resultados obtidos nesta dissertação corroboram a afirmação realizada por Gottschall e Kram (2005), de que o intercambio de energia é menos eficiente conforme aumenta a inclinação positiva, porém, ainda ocorre intercambio de energia mecânica até 15% de inclinação. Deste modo, a evidência confirmou a segunda hipótese proposta, que em ambas as situações da carga (CC ou SC) há um percentual de R relevante na caminhada a 15% de inclinação, e atinge aproximadamente os 30%.

Finalmente, foi comprovado que a carga não modificou o desempenho do R (Figura 37) nas distintas situações analisadas, assim, a independência do R em relação à carga, pode ser aplicada às inclinações de 7% e 15%. Esses resultados concordam com estudos anteriores, os quais determinaram que populações não adaptadas ao transporte de pesadas cargas (mulheres européias, montanhistas caucasianos), não apresentaram melhoras no R como decorrência da caminhada carregada no plano (CAVAGNA *et al.*, 2002; BASTIEN, 2005).

Em relação à transdução pendular instantânea acumulada durante um passo, R_{int} , os resultados evidenciam que o mesmo aumenta com o incremento da velocidade de progressão (Figura 38) e diminui com o acréscimo da inclinação (Figura 39) nas diferentes situações estudadas. Igualmente, o R_{int} é independente da carga na maioria das condições analisadas (Figura 40).

Os resultados do R_{int} nas diversas velocidades da locomoção carregada no plano concordam com um estudo anterior que avaliou a transdução pendular instantânea das mulheres européias quando comparada às africanas, e determinou que o mesmo aumentava com o incremento da velocidade de caminhada (CAVAGNA *et al.*, 2002). O R_{int} apresentou um comportamento similar durante as inclinações, deste modo, pode-se afirmar que o R_{int} de sujeitos não adaptados ao carregamento de carga em inclinações (desse estudo), é independente da carga, similar à situação da caminhada no plano.

Igualmente, a diminuição do R_{int} com o incremento da inclinação foi esperado, devido a que o R_{int} é o percentual de reconversão instantâneo acumulado durante o passo (o *recovery* é durante uma passada), logo, é esperado que o R_{int} diminua conforme aumenta positivamente a inclinação (0%, 7% e 15%). Cabe salientar, que até o momento deste estudo, se desconhecem outros trabalhos que avaliem o R_{int} (e o R) durante a caminhada em inclinações e com carga, porém, os resultados obtidos ampliam as aplicações do R_{int} dadas por Cavagna (2002) na caminhada no plano, às situações inclinadas (7% e 15%).

Considerando outro método de quantificação do mecanismo pendular, o %Cong é definido como a fração do ciclo de passada durante o qual as energias mecânicas do CM (EP e EK) oscilam no mesmo sentido (CAVAGNA *et al.*, 1977; AHN *et al.*, 2004; BIEWENER, 2006; VEREECKE *et al.*, 2006; BISHOP *et al.*, 2008).

Os resultados deste estudo constataram que o %Cong foi modificado nas diferentes velocidades analisadas, diminuindo conforme o incremento das

velocidades de caminhada (Figura 41), igualmente, foi alterado nas situações inclinadas (Figura 42) aumentando seu percentual conforme o acréscimo da inclinação (0%, 7% e 15%). Porém, o %Cong permaneceu independente da carga (Figura 43) na maioria das situações estudadas.

Esses resultados do %Cong no plano e sem carga coincidem com estudos anteriores realizados em animais (rãs, gatos e primatas). Estes estudos utilizaram o %Cong para classificar o tipo de locomoção (caminhada ou corrida, CAVAGNA *et al.*, 1977; AHN *et al.*, 2004; BIEWENER, 2006; VEREECKE *et al.*, 2006; BISHOP *et al.*, 2008).

Está bem estabelecido no mecanismo pendular da caminhada que as energias mecânicas do CM (EP e EK) estão opostas em 180°, e a troca energética acontece simultaneamente durante a passada, na medida em que a EP aumenta a EK diminui e vice versa. Sabe-se na literatura, que a troca energética via mecanismo do pêndulo invertido em humanos, não é totalmente eficiente, e existem perdas associadas ao momento de troca do suporte de uma perna para outra. Sendo assim, o %Cong contabilizaria essas perdas do mecanismo pendular durante a caminhada, quantificando o período de tempo em que as EP e EK estão em fase, ou seja, oscilando na mesma direção (e não opostas, em 180°). Portanto, no momento em que as energias mecânicas do CM estão opostas, o %Cong é baixo (<50%) indicando situações comumente relacionadas à caminhada. Quando o %Cong apresenta altos valores (>50 ou 60%) o tipo de locomoção utilizado é corrida (EP e EK estão em fase). Deste modo, a literatura constata que o %Cong varia em forma inversamente proporcional ao comportamento do *recovery* (CAVAGNA *et al.*, 1977; AHN *et al.*, 2004; BIEWENER, 2006; VEREECKE *et al.*, 2006; BISHOP *et al.*, 2008).

Poucas aplicações do %Cong em humanos são encontradas na literatura e estabelecem que o %Cong atinge seu valor mínimo, no momento em que o R é máximo, tanto em crianças como em adultos sem carga no plano (HALLEMANS *et al.*, 2004; WILSON, 2010). Nossos resultados (Figura 43) coincidem com estes achados.

Igualmente, essa análise comparativa entre o %Cong e o R (Figura 44), permitiu a confirmação de que o mecanismo pendular ainda é relevante nas inclinações de até 15%, e ratificam os achados do R encontrados nas diferentes situações inclinadas.

5.4. Respondendo as hipóteses

Após a discussão pontual dos resultados mecânicos e energéticos pretende-se neste item, discutir as hipóteses deste estudo. A primeira hipótese considera que, devido ao padrão de oscilação do CM modificado na caminhada em inclinações (Figura 3 de GOTTSCHALL e KRAM, 2005), a $V_{ótima}$ de caminhada sofreria influência da carga, diferente da situação no plano. Esta hipótese não foi confirmada, os resultados obtidos demonstraram que a $V_{ótima}$ de caminhada é independente da carga também durante as situações inclinadas de caminhada (7% e 15%), de forma similar ao encontrado na locomoção do plano (BASTIEN *et al.*, 2005).

Apesar disso, cabe destacar, a importância dos resultados, evidenciando esta adaptação no mecanismo pendular, a qual até o momento deste estudo, não foi determinado na literatura, e confirma que a $V_{ótima}$ em inclinações de 7% e 15% é independente da carga e não depende diretamente do mecanismo pendular (ver item 5.3). Os mecanismos que poderiam estar relacionados a este achado são:

i) O custo de suportar a massa extra é diretamente proporcional ao custo de suportar a MC (ver Figura 27 da P_{met} total e corporal) possivelmente devido à semelhança na quantidade de W_{ext}^+ e W_{ext}^- . Estudos anteriores relataram que a P_{met} total é independente da carga, deste modo cada quilo de massa extra carregada consome aproximadamente a mesma quantidade de energia durante a caminhada no plano (DeJAEGER, WILLEMS *et al.*, 1995; GRIFFIN *et al.*, 2003; BASTIEN, 2005).

O mecanismo pendular explica parcialmente os achados sobre a $V_{ótima}$ do presente estudo, especialmente nas baixas velocidades de caminhada em inclinação. Nas velocidades abaixo da $V_{ótima}$, o *recovery* aumentou diretamente com a velocidade, enquanto que nas altas velocidades, o *recovery* continua com comportamento de acréscimo e, portanto, não explica o aumento do C nestas situações (Figura 29 e 35), diferentemente da situação do plano com carga (BASTIEN, 2005).

ii) o segundo mecanismo relacionado à $V_{ótima}$ nas inclinações, poderia estar vinculado à estabilidade postural da caminhada com carga e as repercussões no custo de transporte. Tendo em consideração que o R aumentou linearmente com a velocidade nas inclinações, provavelmente o dispêndio energético devido ao controle postural (co-contração muscular e ativação de músculos posturais) pode

explicar o aumento do C nas baixas e altas velocidades de caminhada, contribuindo para a invariância da $V_{\text{ótima}}$ entre as situações com e sem carga.

O controle postural durante a caminhada em inclinações está diretamente relacionado à co-contração e ativação dos músculos posturais, sabe-se que existe um custo metabólico importante devido à contração parcial de músculos antagonistas que não geram movimento, portanto não geram W_{mec} . Alguns autores baseados na Teoria do custo de geração de força, afirmaram que o custo energético da caminhada é relacionado à taxa de ciclos de pontes-cruzadas de miosina no músculo, independente da geração de W_{mec} (HEGLUND *et al.*, 1982b, KRAM e TAYLOR, 1990, ROBERTS *et al.*, 1998). Contudo, o problema principal desta teoria se refere à desconsideração do custo de balançar os segmentos corporais para trás e para frente, o que é incorreto (MARSH *et al.*, 2004).

Entretanto, foi estabelecido que em inclinações positivas acima de 15% o W_{ext}^+ é predominante com ausência de W_{ext}^- (MINETTI, ARDIGÒ *et al.*, 1993, 1994). Deste modo, considerando as situações de locomoção de pouca eficiência mecânica, como na situação de velocidades mais baixas que a $V_{\text{ótima}}$ e durante inclinações extremas, são geradas situações de instabilidade de locomoção e provavelmente maiores co-contrações musculares. Peyré Tartaruga (2008) avaliou o “custo EMG da caminhada humana”, e a contribuição dos músculos atuando isometricamente, principalmente os posturais, que incidem no alto custo relativo da locomoção. Neste estudo constatou-se que o dispêndio energético é dependente da quantidade de ativação muscular (músculos posturais não geram trabalho muscular importante, mas, são determinantes do C na caminhada em inclinações), principalmente devido à estabilidade dinâmica prejudicada.

No mesmo sentido, a literatura tem estabelecido as relações entre estabilidade articular e quantidade de ativação geral (ANDERSON e BEHM, 2004), e entre a estabilidade corporal e ativação de músculos do tronco (GARDNER-MORSE e STOKES, 1998, GRANATA e MARRAS, 2000, GRANATA e ORISHIMO, 2001), e foi indicado que essa relação é mais importante durante contrações concêntricas em situações de perturbação da estabilidade (e.g. caminhada em baixas velocidades, ou em inclinações) quando comparado às excêntricas.

Os resultados dos estudos anteriores podem auxiliar na explicação do aumento do C da caminhada em inclinações (7% e 15%), devido à predominância das contrações musculares concêntricas, no intuito de deslocar o CM para cima e

para frente. Deste modo, o aumento da co-contracção dos músculos posturais, e o aumento do componente de contracção isométrica da musculatura requisitada, bem como a predominância das contracções concêntricas em velocidades baixas e altas, apesar de terem sido estudados apenas em situação sem carga (ANDERSON e BEHM, 2004, PEYRÉ TARTARUGA, 2008), poderiam justificar o aumento do C de caminhada com carga nas baixas e altas velocidades nas inclinações de 7% e 15%.

A segunda hipótese deste trabalho afirmava que, o C da caminhada em inclinações seria maior nas diversas velocidades de locomoção carregada quando comparada com a situação sem carga, como resultado da diminuição do R e do aumento no %Cong das energias mecânicas nas diferentes inclinações (7% e 15%). Esta hipótese foi confirmada, os resultados (Figura 30) demonstraram que o C foi maior nas diferentes inclinações da locomoção CC quando comparada à SC, e também, que o mecanismo pendular foi prejudicado (menor R e R_{int} e maior %Cong) com o incremento da inclinação, todavia, foi confirmado que a atuação do mecanismo pendular nas inclinações ainda é importante (Figura 44).

Contudo, o achado de 30% de R a 15% no presente estudo nos remete ao questionamento sobre a possibilidade de minimização de energia em situações de terreno inclinado. O cálculo de R neste estudo é baseado essencialmente na troca entre energia cinética horizontal e vertical do CM ao longo da passada. Mais detalhadamente a energia vertical é determinada pelo somatório de energia potencial e cinética vertical. Pressupõe-se que um intercâmbio entre estes dois tipos de energia possa acontecer, através de um modo balístico de transformação de energia, portanto, futuros estudos poderiam confirmar esta proposição e, se caso satisfatória, auxiliaria a explicar a $V_{ótima}$ nas inclinações. Outro questionamento que surge a partir da discussão do presente estudo é referente à contabilização do W_{ext}^+ e W_{ext}^- e suas respectivas Eff (Eff^+ e Eff^-) decorrentes das inclinações a fim de explicar o dispêndio energético nestas condições.

6. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. Conclusões

O objetivo geral do presente estudo foi comparar o comportamento do mecanismo pendular, bem como os parâmetros mecânicos e energéticos durante a caminhada com carga no plano e em inclinações (de 7% e 15%), e em distintas velocidades de caminhada. A partir dos resultados é possível concluir que os parâmetros mecânicos, energéticos e o mecanismo pendular ao longo das diferentes restrições impostas (e.g. cargas e inclinações), provocam adaptações econômicas na mecânica e energética da locomoção humana, possibilitando assim a continuidade da locomoção e a superação dos desafios impostos pelo ambiente.

Dentre as adaptações mecânicas e energéticas da locomoção observadas neste trabalho, os resultados permitem formular as seguintes afirmações:

- i) o custo de transporte da locomoção humana (C) alcançou seu valor mínimo durante as inclinações de 7% e 15% nas velocidades intermediárias e independe da carga, similar ao comportamento do C no plano.
- ii) a $V_{ótima}$ nas inclinações de 7% e 15% ($\approx 3,4 \text{ km.h}^{-1}$) é independente da carga (25% da MC), de forma similar à $V_{ótima}$ do plano. Contudo, à $V_{ótima}$ nas inclinações, não é totalmente explicada pelo mecanismo pendular.
- iii) o percentual de reconversão energética por via pendular (R) da caminhada nos 15% de inclinação, é relevante ($\approx 30\%$ de reconversão), e também é independente da carga. Os resultados de transdução pendular instantânea (R_{int}) e %Cong confirmam este achado.
- iv) O percentual de congruência das energias mecânicas do CM (%Cong) é inversamente proporcional ao R , no plano e nas inclinações, e amplia a aplicabilidade de mensuração do mecanismo pendular através do %Cong no estudo da locomoção humana.

Em suma, após analisar os EFEITOS DA INCLINAÇÃO DO TERRENO E DA CARGA SOBRE O TRABALHO MECÂNICO E O CUSTO DE TRANSPORTE NA CAMINHADA HUMANA, conclui-se que as diferentes restrições impostas através da variação da carga e das inclinações provocaram adaptações na mecânica e energética da locomoção humana, sustentando a $V_{ótima}$ e a reconversão das energias mecânicas (R) nas inclinações. Deste modo, ainda que em menor

proporção, a estratégia de minimização de energia por via pendular ainda persiste nestas condições.

6.2. Considerações Finais

As contribuições deste estudo podem ser aplicadas à caminhada para lazer, esportiva (*trekking*) ou mesmo como atividades da vida diária, dado que o mecanismo pendular e a economia da locomoção ainda são sustentados durante as caminhadas em até 15% de inclinação e com carga (25% da MC).

A questão da minimização energética nos 15% de inclinação ainda permanece e, portanto, futuros estudos são necessários a fim de testar um ajuste ao cálculo atual de R, específico para a situação de terreno inclinado.

Além disso, mais estudos são necessários utilizando outras ferramentas como acelerômetros ou eletromiografia, analisando populações adaptadas ao carregamento de cargas em mochilas, como por exemplo, atletas de corridas de aventura e militares, ambos os grupos acostumados ao transporte de cargas pesadas durante a locomoção.

7. REFERÊNCIAS

- ABE, D.; MURAKI, S.; YASUKOUCHI, A. Ergonomic effects of load carriage on the upper and lower back on metabolic energy cost of walking. **Applied Ergonomics**, v. 39, n. 3, p. 392-398, 2008.
- ABE, D.; YANAGAWA, K.; NIIHATA, S. Effects of load carriage, load position, and walking speed on energy cost of walking. **Applied Ergonomics**, v. 35, n. 4, p. 329-335, 2004.
- AHN, A. N.; FURROW, E.; BIEWENER, A. A. Walking and running in the red-legged running frog, *Kassina maculata*. **Journal of Experimental Biology**, v. 207, n. 3, p. 399-410, 2004.
- ALEXANDER, R. M. Energetics and optimization of human walking and running: The 2000 Raymond Pearl Memorial Lecture. **American Journal of Human Biology**, v. 14, n. 5, p. 641-648, 2002.
- ANDERSON, K. G.; BEHM, D. G. Maintenance of EMG activity and loss of force output with instability **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 18, n. 3, p. 637-640, 2004.
- ARAÚJO, A. G. N.; ANDRADE, L. M.; BARROS, R. M. L. D. Sistema para análise cinemática da marcha humana baseado em videogrametria. **FISIOTERAPIA e PESQUISA**, v. 11, n. 1, p. 1-10, 2004.
- ARDIGÒ, L. P.; SAIBENE, F.; MINETTI, A. E. The optimal locomotion on gradients: walking, running or cycling? **European Journal of Applied Physiology**, v. 90, n. 3-4, p. 365-371, 2003.
- BARCLAY, C. J. Efficiency of fast-twitch and slow-twitch muscle of the mouse performing cyclic contractions. **Journal of Experimental Biology**, v. 193, p. 65-78, 1994.
- BARCLAY, C. J.; CONSTABLE, J. K.; GIBBS, C. L. Energetics of fast-twitch and slow-twitch muscle of the mouse. **Journal of Physiology-London**, v. 472, p. 61-80, 1993.
- BARROS, R. M.; LEITE, N.; FIGUEROA, P. J. Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise tridimensional de movimentos humanos. **Revista Brasileira de Engenharia Biomedica**, v. 15, n. 1-2, p. 78-86, 1999.
- BASTIEN, G. **Physiology of load-carrying in Nepales porters**. (Docteur). Unité of physiologie et biomécanique de la locomotion, Université Catholique de Louvain, Louvain-Bélgica. 2005.
- BASTIEN, G. J. et al. Effect of load and speed on the energetic cost of human walking. **European Journal of Applied Physiology**, v. 94, p. 76-83, 2005.
- BASTIEN, G. J. et al. Energetics of load carrying in Nepalese porters. **Science**, v. 308, n. 5729, p. 1755-1755, 2005b.

BISHOP, K. L.; PAI, A. K.; SCHMITT, D. Whole Body Mechanics of Stealthy Walking in Cats. **PLoS ONE**, v. 3, n. 11, p. 1-6, 2008.

BOBET, J.; NORMAN, R. W. Effects of load placement on back muscle-activity in load carriage. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 53, n. 1, p. 71-75, 1984.

CAMPBELL, D. T.; STANLEY, J. C. **Delineamentos experimentais e quase-experimentais de pesquisa**. São Paulo: 1979.

CAVAGNA, G. A. Symmetry and Asymmetry in Bouncing Gaits. **Symmetry**, v. 2, p. 1270-1321, 2010.

CAVAGNA, G. A.; KANEKO, M. Mechanical work and efficiency in level walking and running. **Journal of Physiology-London**, v. 268, n. 2, p. 467-481, 1977.

CAVAGNA, G. A.; LEGRAMANDI, M. A.; PEYRE-TARTARUGA, L. A. Old men running: mechanical work and elastic bounce. **Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences**, v. 275, n. 1633, p. 411-418, 2008.

CAVAGNA, G. A.; MARGARIA, R.; SAIBENE, F. P. External work in walking. **Journal of Applied Physiology**, v. 18, n. 1, p. 1-9, 1963.

CAVAGNA, G. A.; SAIBENE, F. P.; MARGARIA, R. MEchanical work in running. **Journal of Applied Physiology**, v. 19, n. 2, p. 249-258, 1964.

CAVAGNA, G. A.; THYS, H.; ZAMBONI, A. Sources of external work in level walking and running. **Journal of Physiology-London**, v. 262, n. 3, p. 639-657, 1976.

CAVAGNA, G. A. et al. Pendular energy transduction within the step in human walking. **Journal of Experimental Biology**, v. 205, n. 21, p. 3413-3422, 2002.

CHAFFIN, D. B. The role of biomechanics in preventing occupational injury. **Public Health Reports**, v. 102, n. 6, p. 599-602, 1987.

CHEW, C. M.; PRATT, J.; PRATT, G. **Blind walking of a planar bipedal robot on sloped terrain**. Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation, 1999. Detroit, Michigan.

COOKE, C. B. **Metabolic rate and energy balance**. Kinanthropometry and exercise physiology laboratory manual. London, 1996.

DEJAEGER, D.; WILLEMS, P. A.; HEGLUND, N. C. The energy cost of walking in children. **European Journal of Applied Physiology**, v. 441, p. 538-533, 2001.

DEVITA, P.; HONG, D.; HAMILL, J. Effects of asymmetric load carrying on the biomechanics of walking. **Journal of Biomechanics**, v. 24, n. 12, p. 1119-1129, 1991.

DOKE, J.; DONELAN, J. M.; KUO, A. D. Mechanics and energetics of swinging the human leg. **Journal of Experimental Biology**, v. 208, n. 3, p. 439-445, 2005.

_____. Mechanics and energetics of swinging the human leg. **Journal of Experimental Biology**, v. 210, n. 13, p. 2399-2399, 2007.

FALOLA, J. M.; DELPECH, N.; BRISSWALTER, J. Optimization characteristics of walking with and without a load on the trunk of the body. **Perceptual and Motor Skills**, v. 91, n. 1, p. 261-272, 2000.

FARLEY, C. T.; FERRIS, D. P. Biomechanics of walking and running: Center of mass movements to muscle action. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, 1998, v. 26, p. 253-285, 1998.

FIELD, A. **Descobrimo a Estatística usando o SPSS**. p. 395-440. São Paulo:2009.

FOISSAC, M. et al. Characterization of the mechanical properties of backpacks and their influence on the energetics of walking. **Journal of Biomechanics**, v. 42, n. 2, p. 125-130, 2009.

FOWLER, N. E.; RODACKI, A. F. L.; RODACKI, C. D. Changes in stature and spine kinematics during a loaded walking task. **Gait & Posture**, v. 23, n. 2, p. 133-141, 2006.

FUKUNAGA, T. et al. In vivo behaviour of human muscle tendon during walking. **Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences**, v. 268, n. 1464, p. 229-233, 2001.

GARCIAGUIRRE, J. S.; ADOLPH, K. E.; SHROUT, P. E. Baby carriage: Infants walking with loads. **Child Development**, v. 78, n. 2, p. 664-680, 2007.

GARDNER-MORSE, M. G.; STOKES, I. A. The effects of abdominal muscle coactivation on lumbar spine stability. **Spine**, v. 23, n. 1, p. 86-91, 1998.

GOMEÑUKA, N. A. et al. The effects of anthropometric tables on mechanical work during gradient and loaded walking: a case study. In: SCIENCES, Mountain, Sport & Health Updating Study and Research from Laboratory to Field. Rovereto, Italy, 2009.

GOTTSCHALL, J. S.; KRAM, R. Energy cost and muscular activity required for leg swing during walking. **Journal of Applied Physiology**, v. 99, n. 1, p. 23-30, 2005.

GRABOWSKI, A.; FARLEY, C. T.; KRAM, R. Independent metabolic costs of supporting body weight and accelerating body mass during walking. **Journal of Applied Physiology**, v. 98, n. 2, p. 579-583, 2005.

GRANATA, K. P.; MARRAS, W. S. Cost-benefit of muscle cocontraction in protecting against spinal instability **Spine**, v. 25, n. 11, p. 1398-1404, 2000.

GRANATA, K. P.; ORISHIMO, K. F. Response of trunk muscle coactivation to changes in spinal stability. **Journal of Biomechanics**, v. 34, n. 9, p. 1117-1123, 2001.

GRIFFIN, T. M.; ROBERTS, T. J.; KRAM, R. Metabolic cost of generating muscular force in human walking: insights from load-carrying and speed experiments. **Journal of Applied Physiology**, v. 95, n. 1, p. 172-183, 2003.

HALLEMANS, A. et al. Mechanical energy in toddler gait -A trade-off between economy and stability?. **The Journal of Experimental Biology**, v. 207, p. 2417-2431, 2004.

HARMAN, E.; HAN, K.; FRYMAN, P. **Load-speed interaction effects on the biomechanics of backpack load carriage**. Soldier Mobility: Innovations in Load Carriage System Design and Evaluation, 2000.

HEGLUND, N. C.; CAVAGNA, G. A.; TAYLOR, C. R. Energetics and mechanics of terrestrial locomotion .3. energy changes of the center of mass as a function of speed and body size in birds and mammals. **Journal of Experimental Biology**, v. 97, p. 41-56, 1982a.

HEGLUND, N. C. et al. Energetics and mechanics of terrestrial locomotion .4. total mechanical energy changes as a function of speed and body size in birds and mammals. **Journal of Experimental Biology**, v. 97, p. 57-66, 1982b.

_____. Energy-saving gait mechanics with head-supported loads. **Nature**, v. 375, n. 6526, p. 52-54, 1995.

HIGHAM, T. E.; BIEWENER, A. A. Integration within and between muscles during terrestrial locomotion: effects of incline and speed. **Journal of Experimental Biology**, v. 211, n. 14, p. 2303-2316, 2008.

HOF, A. L.; VAN ZANDWIJK, J. P.; BOBBERT, A. F. Mechanics of human triceps surae muscle in walking, running and jumping. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 174, n. 1, p. 17-30, 2002.

HOGBER, P. How do stride length and stride frequency influence the energy-output during running? **European journal of applied physiology and occupational physiology**, v. 14, n. 6, p. 437-441, 1952.

HOLEWIJN, M. Physiological strain due to load carrying. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 61, n. 3-4, p. 237-245, 1990.

HOLT, K. G. et al. Increased musculoskeletal stiffness during load carriage at increasing walking speeds maintains constant vertical excursion of the body center of mass. **Journal of Biomechanics**, v. 36, n. 4, p. 465-471, 2003.

KANG, J. et al. Physiological and biomechanical analysis of treadmill walking up various gradients in men and women. **European Journal of Applied Physiology**, v. 86, n. 6, p. 503-508, 2002.

KAVANAGH, J. J. Lower trunk motion and speed-dependence during walking. **Journal of Neuroengineering and Rehabilitation**, v. 6, 2009.

KINOSHITA, H. Effects of different loads and carrying systems on selected biomechanical parameters describing walking gait. **Ergonomics**, v. 28, n. 9, p. 1347-1362, 1985.

KNAPIK, J.; HARMAN, E.; REYNOLDS, K. Load carriage using packs: A review of physiological, biomechanical and medical aspects. **Applied Ergonomics**, v. 27, n. 3, p. 207-216, 1996.

KRAM, R. Carrying loads with springy poles. **Journal of Applied Physiology**, v. 71, n. 3, p. 1119-1122, 1991.

KRAMER, P. A. The Effect on Energy Expenditure of Walking on Gradients or Carrying Burdens. **American Journal of Human Biology**, v. 22, p. 497-507, 2010.

LAFIANDRA, M. et al. Transverse plane kinetics during treadmill walking with and without a load. **Clinical Biomechanics**, v. 17, n. 2, p. 116-122, 2002.

LEGG, S. J. Comparison of different methods of load carriage. **Ergonomics**, v. 28, n. 1, p. 197-212, 1985.

LEGG, S. J.; RAMSEY, T.; KNOWLES, D. J. The metabolic cost of backpack and shoulder load carriage. **Ergonomics**, v. 35, n. 9, p. 1063-1068, 1992.

LEROUX, A. **Locomotor and postural adaptations to inclined walking in healthy and spinal cord injured subjects**. School of Physical and Occupational Therapy McGill University, Montreal, 2001.

MALOIY, G. M. O. et al. Energetic cost of carrying loads - have african women discovered an economic way. **Nature**, v. 319, n. 6055, p. 668-669, 1986.

MARGARIA, R. **Sulla fisiologia e specialmente sul consumo energetico della marcia e della corsa a varia velocità ed inclinazione del terreno.** Atti Accademia Nazionale dei Lincei Università de Milano, Milano, 1938.

MARSH, R. L. et al. Partitioning the energetics of walking and running: Swinging the limbs is expensive. **Science**, v. 303, n. 5654, p. 80-83, 2004.

MARTIN, P. E.; NELSON, R. C. The effect of carried loads on the walking patterns of men and women. **Ergonomics**, v. 29, n. 10, p. 1191-1202, 1986.

MASTROIANNI, G. R.; CHUBA, D. M.; ZUPAN, M. O. Self-pacing and cognitive performance while walking. **Applied Ergonomics**, v. 34, n. 2, p. 131-139, 2003.

McINTOSH, A. S. et al. Gait dynamics on an inclined walkway. **Journal of Biomechanics**, v. 39, p. 2491-2502, 2006.

MIAN, O. S. et al. Metabolic cost, mechanical work, and efficiency during walking in young and older men **Scandinavian Physiological Society**, v. 186, p. 127-139, 2006.

MINETTI, A. E. Optimum gradient of mountain paths. **Journal of Applied Physiology**, v. 79, n. 5, p. 1698-1703, 1995.

MINETTI, A. E. et al. Effects of stride frequency on mechanical power and energy-expenditure of walking. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 27, n. 8, p. 1194-1202, 1995.

_____. A model equation for the prediction of mechanical internal work of terrestrial locomotion. **Journal of Biomechanics**, v. 31, n. 5, p. 463-468, 1998.

MINETTI, A. E.; ARDIGO, L. P.; SAIBENE, F. Mechanical determinants of gradient walking energetics in man. **Journal of Physiology-London**, v. 472, p. 725-735, 1993.

MINETTI, A. E.; ARDIGÒ, L. P. The transmission efficiency of backward walking at different gradients. **European Journal of Applied Physiology**, v. 442, p. 542-546, 2001.

MINETTI, A. E.; FORMENTI, F.; ARDIGO, L. P. Himalayan porter's specialization: metabolic power, economy, efficiency and skill. **Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences**, v. 273, n. 1602, p. 2791-2797, 2006.

MINETTI, A. E. et al. Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes. **Journal of Applied Physiology**, v. 93, p. 1039-1046, 2002.

MOCHON, S.; MCMAHON, T. A. Ballistic walking. **Journal of Biomechanics**, v. 13, n. 1, p. 49-57, 1980.

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, 2011.

NIGG, B. M.; HERZOG, W. **Biomechanics of the Musculo-Skeletal System**. John Wiley & Sons, 1994.

ORTEGA, J. D.; FARLEY, C. T. Minimizing center of mass vertical movement increases metabolic cost in walking. **Journal of Applied Physiology**, v. 99, n. 2099, p. 2107, 2005.

PENEIREIRO, G. M. **Influência da mochila em parâmetros dinâmicos, cinemáticos e fisiológicos da locomoção de carteiros pedestres**. Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, 2006.

PEYRÉ TARTARUGA, L. A. **Energética e mecânica da caminhada e corrida humana Com especial referência à locomoção em plano inclinado e efeitos da idade**. Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

PEYRÉ TARTARUGA, L. A.; GOMEÑUKA, N. A. Biomecânica da caminhada em inclinações. **Técnicouro**. Novo Hamburgo - Brasil: IBTeC. 253: 76-84 p. 2010.

PRATT, J. et al. Virtual model control: An intuitive approach for bipedal locomotion. **International Journal of Robotics Research**, v. 20, n. 2, p. 129-143, 2001.

PRENTICE, S. D. et al. Locomotor adaptations for changes in the slope of the walking surface. **Gait and Posture**, v. 20, p. 255-265, 2004.

REN, L.; JONES, R. K.; HOWARD, D. Dynamic analysis of load carriage biomechanics during level walking. **Journal of Biomechanics**, v. 38, n. 4, p. 853-863, 2005.

ROME, L. C.; FLYNN, L.; YOO, T. D. Biomechanics - Rubber bands reduce the cost of carrying loads. **Nature**, v. 444, n. 7122, p. 1023-1024, 2006.

ROTSTEIN, A. et al. Preferred transition speed between walking and running: Effects of training status. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 37, n. 11, p. 1864-1870, 2005.

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, 2003.

SARRAF, T. A. **A influência do transporte de cargas manuais simétricas e assimétricas de diferentes magnitudes sobre a marcha em idosos**. Universidade Federal de Curitiba, Paraná, 2006.

SCHEPENS, B. et al. Mechanical work and muscular efficiency in walking children. **Journal of Experimental Biology**, v. 207, p. 587-596, 2003.

UMBERGER, B. R.; MARTIN, P. E. Mechanical power and efficiency of level walking with different stride rates. **Journal of Experimental Biology**, v. 210, p. 3255-3265, 2007.

WANG, Y. T.; PASCOE, D. D.; WEIMAR, W. Evaluation of book backpack load during walking. **Ergonomics**, v. 44, n. 9, p. 858-869, 2001.

WATSON, J. C. et al. The energetic costs of load-carrying and the evolution of bipedalism. **Journal of Human Evolution**, v. 54, n. 5, p. 675-683, 2008.

WEYAND, P. G. et al. The mass-specific energy cost of human walking is set by stature. **Journal of Experimental Biology**, v. 213, p. 3972-3979, 2010.

WILLEMS, P. A.; CAVAGNA, G. A.; HEGLUND, N. C. External, internal and total work in human locomotion. **Journal of Experimental Biology**, v. 198, n. 2, p. 379-393, 1995.

WILSON, M. P. **The Bent Hip and Bent Knee Gait and its Possible Role in the Evolution of Modern Human Bipedalism**. Department of Biological Anthropology and Anatomy, Duke University, 2010.

WU, G.; MACLEOD, M. The control of body orientation and center of mass location under asymmetrical loading. **Gait and Posture**, v. 13, n. 2, p. 95-101, 2001.

XU, X.; HSIANG, S. M.; MIRKA, G. A. The effects of a suspended-load backpack on gait. **Gait and Posture**, v. 29, n. 1, p. 151-153, 2009.

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

8. ANEXOS

ANEXO A: CARTA DE APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA
CARTA DE APROVAÇÃO/ADENDO



O Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul analisou o projeto:

Número: 2007990

Título: EFEITOS DA INCLINAÇÃO DO TERRENO NO CUSTO MECANICO E ENERGETICO NA LOCOMOÇÃO HUMANA COM CARGA"

Pesquisador (es)

<u>NOME</u>	<u>PARTICIPAÇÃO</u>
LEONARDO ALEXANDRE PEYRE TARTARUGA	PESQ RESPONSÁVEL

O mesmo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS em 09/12/2010, por estar adequado ética e metodologicamente e de acordo com a Resolução 196/96 e complementares do Conselho Nacional de Saúde.

Porto Alegre, 9 de dezembro de 2010


JOSÉ ARTUR BOGO CHIES
Coordenador do CEP-UFRGS

ANEXO B: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

TERMO DE CONSENTIMENTO INFORMADO

Os objetivos do estudo intitulado *EFEITOS DA INCLINAÇÃO DO TERRENO NO CUSTO MECÂNICO E ENERGÉTICO DA LOCOMOÇÃO HUMANA COM CARGA* são analisar e comparar o efeito da carga na velocidade ótima de locomoção em inclinações (+7% e +15%), bem como a eficiência de locomoção, o custo energético da caminhada humana sem e com carga nas diferentes inclinações (0%, +7% e +15%) e nas diferentes velocidades de caminhada (1, 2, 3, 4, 5 e 6 km.h⁻¹).

Eu por meio desta estou ciente que guiado pela pesquisadora Natalia Andrea Gomeñuka e os bolsistas ou assistentes selecionados realizarão os seguintes procedimentos:

Caminhar na esteira, no plano e nas inclinações positivas previstas durante 5 minutos em cada velocidade, no LAPEX da UFRGS.

Caminhar na esteira, com e sem carga no plano e nas inclinações positivas previstas durante 5 minutos em cada velocidade, no LAPEX da UFRGS.

Os testes na esteira serão filmados para posterior realização dos cálculos pertinentes.

Durante o teste de esforço submáximo:

1. Eu irei respirar através de um bocal, no qual estará anexado a um analisador de gases na que a nariz ficará conectada.
2. Os procedimentos expostos acima serão explicados pela pesquisadora Natalia Andrea Gomeñuka ou algum bolsista.
3. Alguns desconfortos poderão ser provocados pela realização dos exercícios físicos ou pelos procedimentos necessários para a realização da pesquisa:
 - dor e cansaço muscular temporário.
 - dor muscular nas costas, nas coxas ou cansaço físico, durante e após a realização dos exercícios físicos.
4. Será monitorada minha frequência cardíaca antes, durante e após as coletas.
5. Entendo que a pesquisadora e/ou os bolsistas irão responder qualquer dúvida que eu tenha em qualquer momento relativo a estes procedimentos.
6. Foi informado que todos os dados relativos à minha pessoa irão ficar confidenciais e disponíveis apenas sob minha solicitação escrita. Além disso, entendo que no momento da publicação, não irá ser feita associação entre os dados publicados e eu.
7. Estou ciente que esse projeto de pesquisa não oferecerá nenhum tipo de benefício direto e imediato às condições de saúde e desempenho das pessoas avaliadas.

8. É assegurado o direito ao voluntário de não participar ou se retirar do estudo, a qualquer momento, sem que lhe represente qualquer tipo de prejuízo. Pode, portanto, o avaliado terminar ou interromper os testes em qualquer momento sob seu critério. É assegurada também a confidencialidade e privacidade às informações coletadas (bem como a garantia do esclarecimento a qualquer dúvida).

9. Fico informado de que posso fazer contato com o Orientador do estudo, ou qualquer bolsista ou assistente, para quaisquer problemas referentes à minha participação no estudo ou se eu sentir que há uma violação nos meus direitos.

Pelo presente Consentimento Informado, declaro que fui esclarecido, de forma clara e detalhada, livre de qualquer forma de constrangimento e coerção, dos objetivos, da justificativa, dos procedimentos a que será submetido, desconfortos e benefícios do presente Projeto de Pesquisa.

Telefones para contato:

Natalia Andrea Gomeñuka (autora): (51) 8489-8803

Data ____/____/____.

CEP- Comitê de Ética e Pesquisa da UFRGS: 33083629

O Orientador responsável por este Projeto é o Professor Doutor Leonardo A. Peyré Tartaruga, fone 3308-5852 ou 8406-3793 (e-mail: leotartaruga@gmail.com).

Data ____/____/____.

Nome e assinatura do Voluntário:

ANEXO C: QUESTIONÁRIO INTERNACIONAL DE ATIVIDADE FÍSICA - IPAQ

QUESTIONÁRIO INTERNACIONAL DE ATIVIDADE FÍSICA –

Nome: _____

Data: ___/___/___

Idade : ___ Sexo: F () M ()

Você trabalha de forma remunerada: () Sim () Não.

Quantas horas você trabalha por dia: ___ Quantos anos completos você estudou: _____

De forma geral sua saúde está: () Excelente () Muito boa () Boa () Regular
() Ruim

As perguntas estão relacionadas ao tempo que você gasta fazendo atividade física em uma semana última semana. As perguntas incluem as atividades que você faz no trabalho, para ir de um lugar a outro, por lazer, por esporte, por exercício ou como parte das suas atividades em casa ou no jardim. Suas respostas são MUITO importantes. Por favor, responda cada questão mesmo que considere que não seja ativo. Obrigado pela sua participação!

Para responder as questões lembre que:

- Atividades físicas VIGOROSAS são aquelas que precisam de um grande esforço físico e que fazem respirar MUITO mais forte que o normal
- Atividades físicas MODERADAS são aquelas que precisam de algum esforço físico e que fazem respirar UM POUCO mais forte que o normal

SEÇÃO 1- ATIVIDADE FÍSICA NO TRABALHO

Esta seção inclui as atividades que você faz no seu serviço, que incluem trabalho remunerado ou voluntário, as atividades na escola ou faculdade e outro tipo de trabalho não remunerado fora da sua casa. NÃO incluir trabalho não remunerado que você faz na sua casa como tarefas domésticas, cuidar do jardim e da casa ou tomar conta da sua família. Estas serão incluídas na seção 3.

1a. Atualmente você trabalha ou faz trabalho voluntário fora de sua casa?

() Sim () Não – Caso você responda não Vá para seção 2:

Transporte

As próximas questões são em relação a toda a atividade física que você fez na última semana como parte do seu trabalho remunerado ou não remunerado. NÃO inclua o transporte para o trabalho. Pense unicamente nas atividades que você faz por pelo menos 10 minutos contínuos:

1b. Em quantos dias de uma semana normal você anda, durante pelo menos 10 minutos contínuos, como parte do seu trabalho? Por favor, NÃO inclua o andar como forma de transporte para ir ou voltar do trabalho.

_____ dias por SEMANA () nenhum - Vá para a questão 1d.

1c. Quanto tempo no total você usualmente gasta POR DIA caminhando como parte do seu trabalho ?

_____ horas _____ minutos

1d. Em quantos dias de uma semana normal você faz atividades moderadas, por pelo menos 10 minutos contínuos, como carregar pesos leves como parte do seu trabalho?

_____ dias por SEMANA () nenhum - Vá para a questão 1f

1e. Quanto tempo no total você usualmente gasta POR DIA fazendo atividades moderadas como parte do seu trabalho?

_____ horas _____ minutos

1f. Em quantos dias de uma semana normal você gasta fazendo atividades vigorosas, por pelo menos 10 minutos contínuos, como trabalho de construção pesada, carregar grandes pesos, trabalhar com enxada, escavar ou subir escadas como parte do seu trabalho:

_____ dias por SEMANA () nenhum - Vá para a questão 2a.

1g. Quanto tempo no total você usualmente gasta POR DIA fazendo atividades físicas vigorosas como parte do seu trabalho?

_____ horas _____ minutos

SEÇÃO 2 - ATIVIDADE FÍSICA COMO MEIO DE TRANSPORTE

Estas questões se referem à forma típica como você se desloca de um lugar para outro, incluindo seu trabalho, escola, cinema, lojas e outros.

2a. O quanto você andou na última semana de carro, ônibus, metrô ou trem?

_____ dias por SEMANA () nenhum - Vá para questão 2c

2b. Quanto tempo no total você usualmente gasta POR DIA andando de carro, ônibus, metrô ou trem?

_____ horas _____ minutos

Agora pense somente em relação a caminhar ou pedalar para ir de um lugar a outro na última semana.

2c. Em quantos dias da última semana você andou de bicicleta por pelo menos 10 minutos contínuos para ir de um lugar para outro? (NÃO inclua o pedalar por lazer ou exercício)

_____ dias por SEMANA () Nenhum - Vá para a questão 2e.

2d. Nos dias que você pedala quanto tempo no total você pedala POR DIA para ir de um lugar para outro?

_____ horas _____ minutos

2e. Em quantos dias da última semana você caminhou por pelo menos 10 minutos contínuos para ir de um lugar para outro? (NÃO inclua as caminhadas por lazer ou exercício)

_____ dias por SEMANA () Nenhum - Vá para a Seção 3.

2f. Quando você caminha para ir de um lugar para outro quanto tempo POR DIA você gasta? (NÃO inclua as caminhadas por lazer ou exercício)

_____ horas _____ minutos

SEÇÃO 3 – ATIVIDADE FÍSICA EM CASA: TRABALHO, TAREFAS DOMÉSTICAS E CUIDAR DA FAMÍLIA.

Esta parte inclui as atividades físicas que você fez na última semana na sua casa e ao redor da sua casa, por exemplo, trabalho em casa, cuidar do jardim, cuidar do quintal, trabalho de manutenção da casa ou para cuidar da sua família. Novamente pense somente naquelas atividades físicas que você faz por pelo menos 10 minutos contínuos.

3a. Em quantos dias da última semana você fez atividades moderadas por pelo menos 10 minutos como carregar pesos leves, limpar vidros, varrer, rastelar no jardim ou quintal.

_____ dias por SEMANA () Nenhum - Vá para questão 3c.

3b. Nos dias que você faz este tipo de atividades quanto tempo no total você gasta POR DIA fazendo essas atividades moderadas no jardim ou no quintal?

_____ horas _____ minutos

3c. Em quantos dias da última semana você fez atividades moderadas por pelo menos 10 minutos como carregar pesos leves, limpar vidros, varrer ou limpar o chão dentro da sua casa.

_____ dias por SEMANA () Nenhum - Vá para questão 3e.

3d. Nos dias que você faz este tipo de atividades moderadas dentro da sua casa quanto tempo no total você gasta POR DIA?

_____ horas _____ minutos

3e. Em quantos dias da última semana você fez atividades físicas vigorosas no jardim ou quintal por pelo menos 10 minutos como carpir, lavar o quintal, esfregar o chão:

_____ dias por SEMANA () Nenhum - Vá para a seção 4.

3f. Nos dias que você faz este tipo de atividades vigorosas no quintal ou jardim quanto tempo no total você gasta POR DIA?

_____ horas _____ minutos

SEÇÃO 4- ATIVIDADES FÍSICAS DE RECREAÇÃO, ESPORTE, EXERCÍCIO E DE LAZER.

Esta seção se refere às atividades físicas que você fez na última semana unicamente por recreação, esporte, exercício ou lazer. Novamente pense somente nas atividades físicas que faz por pelo menos 10 minutos contínuos. Por favor, NÃO inclua atividades que você já tenha citado.

4a. Sem contar qualquer caminhada que você tenha citado anteriormente, em quantos dias da última semana você caminhou por pelo menos 10 minutos contínuos no seu tempo livre?
_____ dias por SEMANA () Nenhum - Vá para questão 4c

4b. Nos dias em que você caminha no seu tempo livre, quanto tempo no total você gasta POR DIA?

_____ horas _____ minutos

4c. Em quantos dias da última semana você fez atividades moderadas no seu tempo livre por pelo menos 10 minutos, como pedalar ou nadar a velocidade regular, jogar bola, vôlei, basquete, tênis :

_____ dias por SEMANA () Nenhum - Vá para questão 4e.

4d. Nos dias em que você faz estas atividades moderadas no seu tempo livre quanto tempo no total você gasta POR DIA?

_____ horas _____ minutos

4e. Em quantos dias da última semana você fez atividades vigorosas no seu tempo livre por pelo menos 10 minutos, como correr, fazer aeróbicos, nadar rápido, pedalar rápido ou fazer Jogging:

_____ dias por SEMANA () Nenhum - Vá para seção 5.

4f. Nos dias em que você faz estas atividades vigorosas no seu tempo livre quanto tempo no total você gasta POR DIA?

_____ horas _____ minutos

SEÇÃO 5 - TEMPO GASTO SENTADO

Estas últimas questões são sobre o tempo que você permanece sentado todo dia, no trabalho, na escola ou faculdade, em casa e durante seu tempo livre. Isto inclui o tempo sentado estudando, sentado enquanto descansa, fazendo lição de casa visitando um amigo, lendo, sentado ou deitado assistindo TV. Não inclua o tempo gasto sentando durante o transporte em ônibus, trem, metrô ou carro.

5a. Quanto tempo no total você gasta sentado durante um dia de semana?

_____ horas _____ minutos

5b. Quanto tempo no total você gasta sentado durante em um dia de final de semana?

_____ horas _____ minutos.

PONTUAÇÃO do IPAQ

Pontuação categórica em três níveis de atividade física:

- Categoria 1 ou Baixa:

- a. Nenhuma atividade é relatada, ou
- b. Alguma atividade é relatada, mas não o suficiente para atender às categorias 2 ou 3.

- Categoria 2 - Moderado:

O padrão da atividade a ser classificado como "moderada" é um dos seguintes três critérios:

- a) 3 ou mais dias de atividade com intensidade vigorosa de pelo menos 20 minutos por dia; ou,
- b) 5 ou mais dias de atividade de intensidade moderada e/ou andar pelo menos 30 minutos por dia; ou,
- c) 5 ou mais dias de qualquer combinação de caminhada, de intensidade moderada ou atividades de intensidade vigorosa, alcançando um total de atividade física mínima de pelo menos 600 MET*min/semana.

- Categoria 3 - Alta:

Qualquer um dos seguintes dois critérios:

- a. A atividade física é de intensidade vigorosa em pelo menos três dias e deve acumular pelo menos 1500 MET*min/semana; ou,
- b. 7 ou mais dias de qualquer combinação de caminhada, ou atividades de intensidade moderada ou vigorosa e acumular pelo menos 3000 MET*min/semana.

ANEXO D: FICHA DE DADOS PESSOAIS

FICHAS DE DADOS PESSOAIS

Data: ____/____/____

Sujeito: _____

Data de Nascimento ____/____/____ Idade: _____

Massa corporal (kg): _____ Massa da Mochila (kg): _____

Estatura (m): _____ CMI (m): _____

Teste dia I: _____ Data do teste: ____/____/____

Teste dia II: _____ Data do teste: ____/____/____

Teste dia III: _____ Data do teste: ____/____/____

ANEXO E: FICHA DE CONTROLE DOS TESTES

FICHA DE CONTROLE DOS TESTES

Teste: Caminhada NO PLANO

2 km.h ⁻¹	3 km.h ⁻¹	4 km.h ⁻¹	5 km.h ⁻¹	6 km.h ⁻¹
<input type="checkbox"/> Sem carga				
<input type="checkbox"/> Com carga				

Teste: Caminhada +7% INCLINAÇÃO

1 km.h ⁻¹	2 km.h ⁻¹	3 km.h ⁻¹	4 km.h ⁻¹	5 km.h ⁻¹
<input type="checkbox"/> Sem carga				
<input type="checkbox"/> Com carga				

Teste: Caminhada +15% INCLINAÇÃO

1 km.h ⁻¹	2 km.h ⁻¹	3 km.h ⁻¹	4 km.h ⁻¹	5 km.h ⁻¹
<input type="checkbox"/> Sem carga				
<input type="checkbox"/> Com carga				

ANEXO F: FICHA DE ARQUIVOS DVIDEOW

* Gravar o arquivo de cinemetria no último minuto de coleta.

Nome Sujeito: _____ Data: _____

Teste dia I: _____ Data: _____

Teste dia II: _____ Data: _____

Teste dia III: _____ Data: _____

Nome dos Arquivos dos Testes:

* ARQUIVOS DE COLETA: Colocar as duas primeiras letras do nome do sujeito, na ordem indicada entre parêntesis na numeração em caneta, selecionada aleatoriamente. Gravar 80 segundos.

* CALIBRADOR: iniciar a coleta com a filmagem do calibrador e ao finalizar a coleta, deve ser filmado novamente. Colocar a data do dia da coleta. Gravar 10 segundos.

Plano_0%

*Calibrador: CalPre ___/___/___

CalPos ___/___/___

() ___ Pla2cc

() ___ Pla2sc

() ___ Pla3cc

() ___ Pla3sc

() ___ Pla4cc

() ___ Pla4sc

() ___ Pla5cc

() ___ Pla5sc

() ___ Pla6cc

() ___ Pla6sc

7% de Inclinação:

*Calibrador: CalPre ___/___/___

CalPos ___/___/___

() ___ Pla1cc

() ___ Pla1sc

() ___ Pla2cc

() ___ Pla2sc

() ___ Pla3cc

() ___ Pla3sc

() ___ Pla4cc

() ___ Pla4sc

() ___ Pla5cc

() ___ Pla5sc

15% de Inclinação:

*Calibrador: CalPre ___/___/___

CalPos ___/___/___

() ___ Pla1cc

() ___ Pla1sc

() ___ Pla2cc

() ___ Pla2sc

() ___ Pla3cc

() ___ Pla3sc

() ___ Pla4cc

() ___ Pla4sc

() ___ Pla5cc

() ___ Pla5sc

ANEXO G: FICHA DE ARQUIVOS DO VO2000

ARQUIVOS DO V02000

NOME SUJEITO: _____

Data de nascimento: ____/____/____

Estatura (cm): _____ Massa Corporal (kg): _____

Teste dia I _____ Data: ____/____/____

Teste dia II _____ Data: ____/____/____

Teste dia III _____ Data: ____/____/____

* Arquivos do VO2000, colocar as duas primeiras letras do nome do sujeito, na ordem indicada entre parêntesis na numeração em caneta, selecionada aleatoriamente. Gravar do 3º ao 5º minuto de caminhada e os 3 minutos de repouso entre os testes de caminhada.

PROTOCOLO DE COLETA

* Iniciar com a mensuração do VO2 de REPOUSO em Pé Sem e Com carga, 6 minutos em cada situação.

PLANO_0%

_____RepPRE_SC (6 minutos)

_____RepPRE_CC (6 minutos)

 Caminhada _____Pla2cc

Repouso _____RepPla2cc

 Caminhada _____Pla2sc

Repouso _____RepPla2sc

 Caminhada _____Pla3cc

Repouso _____RepPla3cc

 Caminhada _____Pla3sc

Repouso _____RepPla3sc

 Caminhada _____Pla4cc

Repouso _____RepPla4cc

 Caminhada _____Pla4sc

Repouso _____RepPla4sc

 Caminhada _____Pla5cc

Repouso _____RepPla5cc

 Caminhada _____Pla5sc

Repouso _____RepPla5sc

 Caminhada _____Pla6cc

Repouso _____RepPla6cc

 Caminhada _____Pla6sc

Repouso _____RepPla6sc

7% de Inclinação

_____RepPRE_SC (6 minutos)

_____RepPRE_CC (6 minutos)

 Caminhada _____7%_1cc

Repouso _____Rep7%_1cc

 Caminhada _____7%1sc

	Repouso	_____Rep7%_1sc
<input type="checkbox"/>	Caminhada	_____7%_2cc
	Repouso	_____Rep7%_2cc
<input type="checkbox"/>	Caminhada	_____7%2sc
	Repouso	_____Rep7%_2sc
<input type="checkbox"/>	Caminhada	_____7%_3cc
	Repouso	_____Rep7%_3cc
<input type="checkbox"/>	Caminhada	_____7%3sc
	Repouso	_____Rep7%_3sc
<input type="checkbox"/>	Caminhada	_____7%_4cc
	Repouso	_____Rep7%_4cc
<input type="checkbox"/>	Caminhada	_____7%4sc
	Repouso	_____Rep7%_4sc
<input type="checkbox"/>	Caminhada	_____7%_5cc
	Repouso	_____Rep7%_5cc
<input type="checkbox"/>	Caminhada	_____7%5sc
	Repouso	_____Rep7%_5sc

15% de Inclinação

_____RepPRE_SC (6 minutos)

_____RepPRE_CC (6 minutos)

<input type="checkbox"/>	Caminhada	_____15%_1cc
	Repouso	_____Rep15%_1cc
<input type="checkbox"/>	Caminhada	_____15%1sc
	Repouso	_____Rep15%_1sc
<input type="checkbox"/>	Caminhada	_____15%_2cc
	Repouso	_____Rep15%_2cc
<input type="checkbox"/>	Caminhada	_____15%2sc
	Repouso	_____Rep15%_2sc
<input type="checkbox"/>	Caminhada	_____15%_3cc
	Repouso	_____Rep15%_3cc
<input type="checkbox"/>	Caminhada	_____15%3sc
	Repouso	_____Rep15%_3sc
<input type="checkbox"/>	Caminhada	_____15%_4cc
	Repouso	_____Rep15%_4cc
<input type="checkbox"/>	Caminhada	_____15%4sc
	Repouso	_____Rep15%_4sc
<input type="checkbox"/>	Caminhada	_____15%_5cc
	Repouso	_____Rep15%_5cc
<input type="checkbox"/>	Caminhada	_____15%5sc
	Repouso	_____Rep15%_5sc

ANEXO H: FICHA DE CONTROLE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA

NOME SUJEITO: _____

Teste dia I _____ Data: ____/____/____

Teste dia II _____ Data: ____/____/____

Teste dia III _____ Data: ____/____/____

* Medir a FC de Esforço durante os dois últimos minutos de exercício, e a FC de Repouso no último min de repouso, antes de iniciar o próximo teste de caminhada.

PLANO 0%

Ordem	Teste	FC Esforço	FC Repouso
()	2 km CC		
()	2 km SC		
()	3 km CC		
()	3 km SC		
()	4 km CC		
()	4 km SC		
()	5 km CC		
()	5 km SC		
()	6 km CC		
()	6 km SC		

7% de Inclinação

Ordem	Teste	FC Esforço	FC Repouso
()	2 km CC		
()	2 km SC		
()	3 km CC		
()	3 km SC		
()	4 km CC		
()	4 km SC		
()	5 km CC		
()	5 km SC		
()	6 km CC		
()	6 km SC		

15% de Inclinação

Ordem	Teste	FC Esforço	FC Repouso
()	2 km CC		
()	2 km SC		
()	3 km CC		
()	3 km SC		
()	4 km CC		
()	4 km SC		
()	5 km CC		
()	5 km SC		
()	6 km CC		
()	6 km SC		

9. APÊNDICES

APÊNDICE A: ROTINA PARA PROCESAMENTO DE DADOS CINEMÁTICOS EM MATLAB

```

%% Rotina de Processamento de Dados Cinemáticos
% Realizada por Natalia A. Gomeñuka, M.Rodriguez Paz, Renata Bona e L.Peyré Tartaruga
clear all
close all

% definição das variáveis
fsamp = 50;           %frequência de amostragem(Hz)
dt = 1/50;           % Período
fcut=3;              % frequência de corte
order=5;             % ordem do polinomio
g = 9.8;             % aceleração da gravidade (m/seg^2)

subtitulo={'QUAL É O MASSA CORPORAL? [kg]',...
'QUAL É MASSA DA CARGA EM PORCENTAGEM DA MASSA CORPORAL? [%]',...
'QUAL É A VELOCIDADE DA ESTEIRA? [m/s]',...
'QUAL É A INCLINAÇÃO? [%]',...
'TEM MOCHILA? [SIM= 1; NAO= 0]};
titulo='CAMINHADA COM CARGA';
linhas=1;
defAns={'80',' ','3','0','0'};
options.resize='on';
resposta=inputdlg(subtitulo,titulo,linhas,defAns,options);
peso_corporal=char(resposta(1));
peso_corporal=str2num(peso_corporal);
porcentagem_carga=char(resposta(2));
porcentagem_carga=str2num(porcentagem_carga);
%vh = char(resposta(3));
%vh = str2num(vh);
v_esteira=char(resposta(3));
v_esteira=str2num(v_esteira);
inclinacao = char(resposta(4));
inclinacao = str2num(inclinacao);
backpack = char(resposta(5));
backpack = str2num(backpack);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%CALCULO DAS COMPONENTES DA VEL. RESULTANTE (HOR E VERT)
inclinacao = inclinacao/100;
ang_incli = atand(inclinacao); %Resultado = angulo da inclinação em Graus

v_hor = v_esteira * cosd(ang_incli); % Resultado = componente horizontal
% da velocidade da esteira
v_vert = v_esteira * sind(ang_incli); % Resultado = componente vertical
% da velocidade da esteira
vh = v_hor; % Resultado da velocidade horizontal
vv = v_vert;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% peso corporal
% chama a subrotina "peso.m" para confirmar o peso guardado em arquivo
pc=0;
pc=peso_corporal;
per_c=porcentagem_carga/100;
if isempty(porcentagem_carga)==1
pc=pc;
else
pc=pc+(per_c*pc);
end
save upeso.txt pc -ASCII;
% Valores de Massa dos segmentos do membro inferior
m = [0.006*pc 0.016*pc 0.027*pc];
% m = [pé, perna, coxa]
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Carrega dados de cinematria do lado esquerdo
h = msgbox('Arquivo de cinematria 3D do lado esquerdo');
waitfor(h)
[diretorio,arquivo]=carrega('*.3D');
cinematicasfe = levideow(diretorio,arquivo);
%[nquadros,ncolunas] = size(cinematicasfe);
% filtragem dos dados de cinematica
[nquadros,ncolunas] = size(cinematicasfe);
% Carrega dados de cinematria do lado direito
h = msgbox('Arquivo de cinematria 3D do lado direito');
waitfor(h)
[diretorio,arquivo]=carrega('*.3D');
cinematicasfd = levideow(diretorio,arquivo);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% NESTA PARTE, O DESLOCAMENTO HOR É SOMADA A COLUNA X DE CADA CM SEGMENTAR,
% E O DESLOCAMENTO VERT É SOMADA A COLUNA Y DE CADA CM SEGMENTAR, PRIMEIRO PARA O LADO
% ESQUERDO E DEPOIS PARA O DIREITO (15/04/2010)

ncolunas_x = (cinematicasfe(:,2:3:end));
nquadros_x = size(cinematicasfe,1);
des_v_fr = vv*dt; %Deslocam. vert x frame
des_v_frr = vv*dt; % Deslocam. vert ACUMULADO
des_h_fr = vh*dt; % Deslocam. hor x frame
des_h_frr = vh*dt; % Deslocam. hor ACUMULADO
cinematicasfe_h = (cinematicasfe(:,2:3:end));

for j = 1:size(ncolunas_x,2)
for i = 1:nquadros_x
cinematicasfe_h(i,j) = (cinematicasfe_h(i,j) + (des_h_frr(i))) ;
des_h_frr(i+1) = des_h_frr(i) + des_h_fr;
end

```

```

end
cinematicasfe(:,2:3:end) = cinematicasfe_h;

cinematicasfe_v = (cinematicasfe(:,3:3:end));
for j = 1:size(ncolunas_x,2)
for i = 1:nquardros_x
cinematicasfe_v(i,j) = (cinematicasfe_v(i,j) + (des_v_frr(i))) ;
des_v_frr(i+1) = des_v_frr(i) + des_v_frr;
end
end
cinematicasfe(:,3:3:end) = cinematicasfe_v;

%FAZ A MESMA COISA PARA O LADO DIRETIO
cinematicasfd_h = (cinematicasfd(:,2:3:end));
for j = 1:size(ncolunas_x,2)
for i = 1:nquardros_x
cinematicasfd_h(i,j) = (cinematicasfd_h(i,j) + (des_h_frr(i))) ;
des_h_frr(i+1) = des_h_frr(i) + des_h_frr;
end
end
cinematicasfd(:,2:3:end) = cinematicasfd_h;

cinematicasfd_v = (cinematicasfd(:,3:3:end));
for j = 1:size(ncolunas_x,2)
for i = 1:nquardros_x
cinematicasfd_v(i,j) = (cinematicasfd_v(i,j) + (des_v_frr(i))) ;
des_v_frr(i+1) = des_v_frr(i) + des_v_frr;
end
end
cinematicasfd(:,3:3:end) = cinematicasfd_v;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
cinematicafd=matfiltfilt(dt, fcut, order, cinematicasfd); %dados do lado direito filtrados
cinematicafe=matfiltfilt(dt, fcut, order, cinematicasfe); %dados do lado esquerdo filtrados
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
[nquardrosd,ncolunasd] = size(cinematicafd);

%Definir os ciclos de passada do lado esquerdo
h = msgbox('Carrega o arquivo de tempo de passada do lado esquerdo');
waitfor(h)
[diretorio,arquivo]=carrega('*.txt');
stime = levideow(diretorio,arquivo);
[ntp,nc]=size(stime);

%Definir os ciclos de passada do lado direito
h = msgbox('Carrega o arquivo de tempo de passada do lado direito');
waitfor(h)
[diretorio,arquivo]=carrega('*.txt');
stimed = levideow(diretorio,arquivo);

%Cria numero de passadas
[nlstime ncstime]=size(stime);
nstride=nlstime-1; %NUMERO DE PASSADAS

figure(1)
plot(cinematicafe(:,2))
hold on
plot(cinematicafd(:,2),'ro')
legend('esq','dir')
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Definição da matriz do lado esquerdo
met_e = cinematicafe(:,2:4) ;
cal_e = cinematicafe(:,5:7) ;
mal_e = cinematicafe(:,8:10);
joe_e = cinematicafe(:,11:13);
qua_e = cinematicafe(:,14:16);
pun_e = cinematicafe(:,17:19);
cot_e = cinematicafe(:,20:22);
omb_e = cinematicafe(:,23:25);
cab_e = cinematicafe(:,26:28); %relativo a cabeça

%Definição da matriz do lado direito
met_d = cinematicafd(:,2:4);
cal_d = cinematicafd(:,5:7);
mal_d = cinematicafd(:,8:10);
joe_d = cinematicafd(:,11:13);
qua_d = cinematicafd(:,14:16);
pun_d = cinematicafd(:,17:19);
cot_d = cinematicafd(:,20:22);
omb_d = cinematicafd(:,23:25);
cab_d = cinematicafd(:,26:28); %relativo a cabeça

%CÁLCULO DOS cm'S SEGMENTARES VIA VETOR (*center of mass/segment length)
% LADO DIRETIO
cmd(:,1:3) = (( met_d - mal_d) *0.50 + mal_d); % Centro de massa do pé
cmd(:,4:6) = (( mal_d - joe_d)*0.433 + joe_d); % Centro de massa da perna
cmd(:,7:9) = (( joe_d - qua_d)*0.433 + qua_d); % Centro de massa da coxa
cmd(:,10:12) = (( qua_d - omb_d)*0.44 + omb_d); % Centro de massa do tronco
cmd(:,13:15) = (( omb_d - cot_d)*0.436 + cot_d); % Centro de massa do braço
cmd(:,16:18) = (( cot_d - pun_d)*0.682 + pun_d); % Centro de massa do antebraço e mão

% LADO ESQUERDO
cme(:,1:3) = (( met_e - mal_e) *0.50 + mal_e); % Centro de massa do pé
cme(:,4:6) = (( mal_e - joe_e)*0.433 + joe_e); % Centro de massa da perna
cme(:,7:9) = (( joe_e - qua_e)*0.433 + qua_e); % Centro de massa da coxa
cme(:,10:12) = (( qua_e - omb_e)*0.44 + omb_e); % Centro de massa do tronco
cme(:,13:15) = (( omb_e - cot_e)*0.436 + cot_e); % Centro de massa do braço
cme(:,16:18) = (( cot_e - pun_e)*0.682 + pun_e); % Centro de massa do antebraço e mão
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% calculo de posicao do centro de massa total
cmtronco(:,1:3) = (cmd(:,10:12)+cme(:,10:12))./2; %ponto medio do tronco para x e y

```

```

% calculo de posicao do centro de massa da mochila
if backpack ==1
cmbackpack(:,1) = cmtronco(:,1)-0.1;           %eixo antero posterior da mochila (diminuimos 10 centimetros da pos do tronco)
cmbackpack(:,2) = cmtronco(:,2)+0.1;           %eixo vertical da mochila (somamos 10 centimetros da pos do tronco)
cmbackpack(:,3) = cmtronco(:,3);               %eixo antero posterior da mochila (diminuimos 10 centimetros da pos do tronco)

%CENTRO DE MASA TOTAL DO CORPO (* Segment Weight/Total Body Weight)
% [péd, pernad, coxad, troncopescoçocabeça, braçod, antebraçod, mão, pé, pernae, coxae, braço, antebraço, mão, mochila]
% foi subtraído o 25% da massa de cada segmento, porque a mochila é 25% da
% massa total e a Soma de todo a massa deve ficar em 100%.
cm(:,1:3) = (cmd(:,1:3).*(0.0132 - 0.0033))+(cmd(:,4:6).*(0.0426 - 0.01065))+(cmd(:,7:9).*(0.1424 -
0.0356))+(cmtronco(:,1:3).*(0.4411 - 0.110275))+(cmd(:,13:15).*(0.0274 - 0.00685))+(cmd(:,16:18).*(0.232 -
0.058))+(cme(:,1:3).*(0.0132 - 0.0033))+(cme(:,4:6).*(0.0426 - 0.01065))+(cme(:,7:9).*(0.1424 -
0.0356))+(cme(:,13:15).*(0.0274 - 0.00685))+(cme(:,16:18).*(0.0232 - 0.0058))+(cmbackpack(:,1:3).*0.25);
[nl nc]=size(cm);

elseif backpack==0
%CENTRO DE MASA TOTAL DO CORPO (* Segment Weight/Total Body Weight)
% [péd, pernad, coxad, troncopescoçocabeça, braçod, antebraçod, mão, pé, pernae, coxae, braço, antebraço, mão]
cm(:,1:3) =
(cmd(:,1:3).*0.0132)+(cmd(:,4:6).*0.0426)+(cmd(:,7:9).*0.1424)+(cmtronco(:,1:3).*0.4411)+(cmd(:,13:15).*0.0274)+(cmd(:,16:18)
.*0.232)+(cme(:,1:3).*0.0132)+(cme(:,4:6).*0.0426)+(cme(:,7:9).*0.1424)+(cme(:,13:15).*0.0274)+(cme(:,16:18).*0.0232);
[nl nc]=size(cm);
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% calculo de velocidade do centro de massa total
vcm(:,1:3) = diff(cm)./dt;%POR QUE NÃO INTERPOLAN PARA COMPLETAR
vcm(:,1) = vcm(:,1)+ vh;
vcm(:,2) = vcm(:,2)+ vv;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% CALCULO DA ENERGIA POTENCIAL via escalar(M*g*H)
ep = cm(:,2)*g*pc;
epp = ep(2:end,:);
epp = epp-(min(epp));

% CALCULO DA ENERGIA CINETICA via escalar(MV^2/2)
ech= vcm(:,1).*vcm(:,1)*pc*0.5;           %energia cinética horizontal
ecv= vcm(:,2).*vcm(:,2)*pc*0.5;           %energia cinética vertical
ec= ech + ecv;                             %energia cinética total
ec = ec-(min(ec));

nllstride=nl/nstride;

figure(2)
subplot(2,1,1)
plot(ec(nllstride:(nllstride*2)), 'r')
hold on
plot(epp(nllstride:(nllstride*2)), 'g')
legend('energias cinetica', 'energia potencial')
title('uma passada')
subplot(2,1,2)
plot(ec(1:nl-1), 'r')
hold on
plot(epp(1:nl-1), 'g')
legend('energias cinetica', 'energia potencial')
title('todas passadas')

% CALCULO DA ENERGIA TOTAL (Epot + Ekin)
Etot=ec+epp;                               % Energia total

% CALCULO DO TRABALHO MECANICO EXTERNO
tme=diff(Etot);
tme=interpft(tme, nl);                       %matriz do trabalho mec externo normalizado para tam inicial

for i=1:nl
if tme(i) > 0
tmposs(i)=tme(i);
else
tmposs(i)=0;
end
if tme (i) < 0
tmneg(i)=tme(i);
else
tmneg(i)=0;
end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% tmposs=tmposs/nstride;
tmet=sum(tmposs)/nstride;
tmneg=sum(tmneg)/nstride;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% CALCULA O TEMPO DE PASSADA MÉDIO
T=nl*dt/nstride;

% CALCULO DO TRABALHO MECANICO EXTERNO na unidade da distancia e peso
dist=vh*T;                                   % distância percorrida médio por passada
tmetr=tmet/pc/dist;                          % trabalho mecânico por kg por metro percorrido

%trabalho mecânico vertical (potencial mais cinético vertical)
ev=ecv+epp;
tmv=diff(ev);
tmv=interpft(tmv, nl);                       %matriz do trabalho mec vertical normalizado para tam inicial

for i=1:nl
if tmv(i) > 0
tmvpos(i)=tmv(i);
else
tmvpos(i)= 0;
end
if tmv (i) < 0
tmvneg(i)=tmv(i);
else
tmvneg (i) = 0;
end
end

```

```

end
end

tmvt=sum(tmvtpos)/nstride;
tmvtr=sum(tmvtpos)/pc/dist/nstride;
tmvnegt=sum(tmvtneg)/nstride;

%trabalho mecânico horizontal(SO ENERGIA CINETICA HORIZONTAL)
tmhh=diff(ech);
tmh=interpft(tmhh, nl);          %matriz do trabalho mec potencial normalizado para tam inicial

for i=1:nl
if tmh(i) > 0
tmhpos(i)=tmh(i);
else
tmhpos(i)= 0;
end
if tmh(i) < 0
tmhneg(i)=tmh(i);
else
tmhneg(i)= 0;
end
end

tmht=sum(tmhpos)/nstride;
tmhtr=sum(tmhpos)/pc/dist/nstride;
tmhnegt=sum(tmhneg)/nstride;

% CÁLCULO DO QUANTO A TROCA DE ENERGIA VIA PÊNULO INVERTIDO REDUZ O TRAB MEC EXT LÍQUIDO (NET) (RECONVERSÃO DE ENERGIA
MECANICA - RECOVERY)
Recovery= ((tmhtr+tmvtr)-tmetr)/(tmhtr+tmvtr)*100;

%% DEFINIÇÃO DOS PASSOS
% utiliza 13 passos cortando o primeiro e o último que pode ser alterado
% no momento do filtro
passos(:,1)=stimed(2:13,2);
passos(:,2)=stime(2:13,2);
%Cria numero de passos
[nlpassos ncpassos]=size(passos);
npassos =nlpassos ; %NUMERO DE PASSOS

%% Cálculo do Rstep (é a energia mecânica recuperada pela transdução
% durante o passo) para cada um dos 13 passos analisados
% Rstep = 1- W+ext/(W+v + W+f) FALTAR ARRUMAR
for cont=1:size(passos,1)
tmht_x_passo(cont,1)= sum(tmhpos((passos (cont,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(cont,2))-(passos(1,1)-1)));
tmvt_x_passo(cont,1)= sum(tmvtpos((passos (cont,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(cont,2))-(passos(1,1)-1)));
tmet_x_passo(cont,1)=sum(tmvtoss((passos (cont,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(cont,2))-(passos(1,1)-1)));
end

Rstep = (tmvt_x_passo + tmht_x_passo - tmet_x_passo)./(tmvt_x_passo + tmht_x_passo);
%Rstep = Rstep - (min(Rstep));
Rstep_02 = Rstep (1,1);
Rstep_03 = Rstep (2,1);
Rstep_04 = Rstep (3,1);
Rstep_05 = Rstep (4,1);
Rstep_06 = Rstep (5,1);
Rstep_07 = Rstep (6,1);
Rstep_08 = Rstep (7,1);
Rstep_09 = Rstep (8,1);
Rstep_10 = Rstep (9,1);
Rstep_11 = Rstep (10,1);
Rstep_12 = Rstep (11,1);
Rstep_13 = Rstep (12,1);
Rstep_media = mean([Rstep_02, Rstep_03, Rstep_04, Rstep_05, Rstep_06, Rstep_07,...
Rstep_08, Rstep_09, Rstep_10, Rstep_11, Rstep_12, Rstep_13]);% Rint_14];

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% r(t)= 1 -(|Wext(t)|/( |Wv(t)| + |Wh(t)|)) seguindo a equação do Cavagna 2002
% rdet(:,cont)= 1 - (abs(tme(passos(cont,1):(passos(cont,2)))) / ( abs(tmvt(passos(cont,1):(passos(cont,2)))) +
abs(tmh(passos(cont,1):(passos(cont,2))))))
rdet_02 = 1 - (abs(tme((passos (1,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(1,2))-(passos(1,1)-1)))/( abs(tmvt((passos (1,1))-(
passos(1,1)-1)):(passos(1,2))-(passos(1,1)-1)) + abs(tmh((passos (1,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(1,2))-(passos(1,1)-
1)))); % é o r(t) segundo Cavagna 2002 recovery instantaneo
rdet_03 = 1 - (abs(tme((passos (2,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(2,2))-(passos(1,1)-1)))/( abs(tmvt((passos (2,1))-(
passos(1,1)-1)):(passos(2,2))-(passos(1,1)-1)) + abs(tmh((passos (2,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(2,2))-(passos(1,1)-
1))));
rdet_04 = 1 - (abs(tme((passos (3,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(3,2))-(passos(1,1)-1)))/( abs(tmvt((passos (3,1))-(
passos(1,1)-1)):(passos(3,2))-(passos(1,1)-1)) + abs(tmh((passos (3,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(3,2))-(passos(1,1)-
1))));
rdet_05 = 1 - (abs(tme((passos (4,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(4,2))-(passos(1,1)-1)))/( abs(tmvt((passos (4,1))-(
passos(1,1)-1)):(passos(4,2))-(passos(1,1)-1)) + abs(tmh((passos (4,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(4,2))-(passos(1,1)-
1))));
rdet_06 = 1 - (abs(tme((passos (5,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(5,2))-(passos(1,1)-1)))/( abs(tmvt((passos (5,1))-(
passos(1,1)-1)):(passos(5,2))-(passos(1,1)-1)) + abs(tmh((passos (5,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(5,2))-(passos(1,1)-
1))));
rdet_07 = 1 - (abs(tme((passos (6,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(6,2))-(passos(1,1)-1)))/( abs(tmvt((passos (6,1))-(
passos(1,1)-1)):(passos(6,2))-(passos(1,1)-1)) + abs(tmh((passos (6,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(6,2))-(passos(1,1)-
1))));
rdet_08 = 1 - (abs(tme((passos (7,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(7,2))-(passos(1,1)-1)))/( abs(tmvt((passos (7,1))-(
passos(1,1)-1)):(passos(7,2))-(passos(1,1)-1)) + abs(tmh((passos (7,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(7,2))-(passos(1,1)-
1))));
rdet_09 = 1 - (abs(tme((passos (8,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(8,2))-(passos(1,1)-1)))/( abs(tmvt((passos (8,1))-(
passos(1,1)-1)):(passos(8,2))-(passos(1,1)-1)) + abs(tmh((passos (8,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(8,2))-(passos(1,1)-
1))));
rdet_10 = 1 - (abs(tme((passos (9,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(9,2))-(passos(1,1)-1)))/( abs(tmvt((passos (9,1))-(
passos(1,1)-1)):(passos(9,2))-(passos(1,1)-1)) + abs(tmh((passos (9,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(9,2))-(passos(1,1)-
1))));
rdet_11 = 1 - (abs(tme((passos (10,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(10,2))-(passos(1,1)-1)))/( abs(tmvt((passos (10,1))-(
passos(1,1)-1)):(passos(10,2))-(passos(1,1)-1)) + abs(tmh((passos (10,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(10,2))-(passos(1,1)-
1))));

```

```

rdet_12 = 1 - (abs(tme((passos (11,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(11,2))-(passos(1,1)-1)))/ (abs(tmv((passos (11,1))-(
passos(1,1)-1)):(passos(11,2))-(passos(1,1)-1))) + abs(tmh((passos (11,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(11,2))-(passos(1,1)-
1))));
rdet_13 = 1 - (abs(tme((passos (12,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(12,2))-(passos(1,1)-1)))/ (abs(tmv((passos (12,1))-(
passos(1,1)-1)):(passos(12,2))-(passos(1,1)-1))) + abs(tmh((passos (12,1))-(passos(1,1)-1)):(passos(12,2))-(passos(1,1)-
1))));
tamanhos=[size(rdet_02,1);
size(rdet_03,1);
size(rdet_04,1);
size(rdet_05,1);
size(rdet_06,1);
size(rdet_07,1);
size(rdet_08,1);
size(rdet_09,1);
size(rdet_10,1);
size(rdet_11,1);
size(rdet_12,1);
size(rdet_13,1)];
tamanho_max=max(tamanhos);
% interpolado pelo máximo
rdet_02_inter=interpft(rdet_02,tamanho_max);
rdet_03_inter=interpft(rdet_03,tamanho_max);
rdet_04_inter=interpft(rdet_04,tamanho_max);
rdet_05_inter=interpft(rdet_05,tamanho_max);
rdet_06_inter=interpft(rdet_06,tamanho_max);
rdet_07_inter=interpft(rdet_07,tamanho_max);
rdet_08_inter=interpft(rdet_08,tamanho_max);
rdet_09_inter=interpft(rdet_09,tamanho_max);
rdet_10_inter=interpft(rdet_10,tamanho_max);
rdet_11_inter=interpft(rdet_11,tamanho_max);
rdet_12_inter=interpft(rdet_12,tamanho_max);
rdet_13_inter=interpft(rdet_13,tamanho_max);

for cont=1:tamanho_max
frame_passo(cont,:)= [rdet_02_inter(cont,1),rdet_03_inter(cont,1),...
rdet_04_inter(cont,1),rdet_05_inter(cont,1),rdet_06_inter(cont,1),...
rdet_07_inter(cont,1),rdet_08_inter(cont,1),rdet_09_inter(cont,1),...
rdet_10_inter(cont,1),rdet_11_inter(cont,1),rdet_12_inter(cont,1),...
rdet_13_inter(cont,1)];
Media_Rdet(cont,1) = mean(frame_passo(cont,:));
end

for cont=1:tamanho_max
frame_passo(cont,:)= [rdet_02_inter(cont,1),rdet_03_inter(cont,1),...
rdet_04_inter(cont,1),rdet_05_inter(cont,1),rdet_06_inter(cont,1),...
rdet_07_inter(cont,1),rdet_08_inter(cont,1),rdet_09_inter(cont,1),...
rdet_10_inter(cont,1),rdet_11_inter(cont,1),rdet_12_inter(cont,1),...
rdet_13_inter(cont,1)];
dp_Rdet(cont,1) = std(frame_passo(cont,:));
end

Med_mais_dp =(Media_Rdet + dp_Rdet);
Med_menos_dp =(Media_Rdet - dp_Rdet);

figure (3)
plot (Media_Rdet,'bo')
hold on
plot (Med_mais_dp,'go')
hold on
plot (Med_menos_dp,'ro')
legend('Media R(t)', 'Media R(t)+ dp', 'Media R(t) - dp')
title('Media do Recovery instantaneo ')
xlabel('frames')
ylabel('Reconversão')

figure(4)
plot(rdet_02_inter)
hold on
plot(rdet_03_inter)
hold on
plot(rdet_04_inter)
hold on
plot(rdet_05_inter)
hold on
plot(rdet_06_inter)
hold on
plot(rdet_07_inter)
hold on
plot(rdet_08_inter)
hold on
plot(rdet_09_inter)
hold on
plot(rdet_10_inter)
hold on
plot(rdet_11_inter)
hold on
plot(rdet_12_inter)
hold on
plot(rdet_13_inter)
% hold on
legend('R(t)')
title('Recovery instantaneo ')
xlabel('frames')
ylabel('Reconversão')

Rint_02 = sum(rdet_02)/(passos(1,2)-passos(1,1) );
Rint_03 = sum(rdet_03)/(passos(2,2)-passos(2,1) );
Rint_04 = sum(rdet_04)/(passos(3,2)-passos(3,1) );
Rint_05 = sum(rdet_05)/(passos(4,2)-passos(4,1) );
Rint_06 = sum(rdet_06)/(passos(5,2)-passos(5,1) );
Rint_07 = sum(rdet_07)/(passos(6,2)-passos(6,1) );
Rint_08 = sum(rdet_08)/(passos(7,2)-passos(7,1) );
Rint_09 = sum(rdet_09)/(passos(8,2)-passos(8,1) );

```

```

Rint_10 = sum(rdet_10)/(passos(9,2)-passos(9,1)) ;
Rint_11 = sum(rdet_11)/(passos(10,2)-passos(10,1)) ;
Rint_12 = sum(rdet_12)/(passos(11,2)-passos(11,1)) ;
Rint_13 = sum(rdet_13)/(passos(12,2)-passos(12,1)) ;

[Rint_02_progressivo,result] = integra_naty(1, size(rdet_02_inter,1), 1, 1, rdet_02_inter);
[Rint_03_progressivo,result] = integra_naty(1, size(rdet_03_inter,1), 1, 1, rdet_03_inter);
[Rint_04_progressivo,result] = integra_naty(1, size(rdet_04_inter,1), 1, 1, rdet_04_inter);
[Rint_05_progressivo,result] = integra_naty(1, size(rdet_05_inter,1), 1, 1, rdet_05_inter);
[Rint_06_progressivo,result] = integra_naty(1, size(rdet_06_inter,1), 1, 1, rdet_06_inter);
[Rint_07_progressivo,result] = integra_naty(1, size(rdet_07_inter,1), 1, 1, rdet_07_inter);
[Rint_08_progressivo,result] = integra_naty(1, size(rdet_08_inter,1), 1, 1, rdet_08_inter);
[Rint_09_progressivo,result] = integra_naty(1, size(rdet_09_inter,1), 1, 1, rdet_09_inter);
[Rint_10_progressivo,result] = integra_naty(1, size(rdet_10_inter,1), 1, 1, rdet_10_inter);
[Rint_11_progressivo,result] = integra_naty(1, size(rdet_11_inter,1), 1, 1, rdet_11_inter);
[Rint_12_progressivo,result] = integra_naty(1, size(rdet_12_inter,1), 1, 1, rdet_12_inter);
[Rint_13_progressivo,result] = integra_naty(1, size(rdet_13_inter,1), 1, 1, rdet_13_inter);

for cont=1:tamanho_max
Rint_progressivo(cont,:)= [Rint_02_progressivo(cont,1),Rint_03_progressivo(cont,1),...
Rint_04_progressivo(cont,1),Rint_05_progressivo(cont,1),Rint_06_progressivo(cont,1),...
Rint_07_progressivo(cont,1),Rint_08_progressivo(cont,1),Rint_09_progressivo(cont,1),...
Rint_10_progressivo(cont,1),Rint_11_progressivo(cont,1),Rint_12_progressivo(cont,1),...
Rint_13_progressivo(cont,1)];
Media_Rint_progressivo(cont,1) = mean(Rint_progressivo(cont,:));
end

figure(5)
plot(Media_Rint_progressivo)
hold on
legend('Rint')
title('Rint progressivo')
xlabel('frames')
ylabel('Reconversão Acumulada')

Rint(1,1)=Rint_02;
Rint(2,1)=Rint_03;
Rint(3,1)=Rint_04;
Rint(4,1)=Rint_05;
Rint(5,1)=Rint_06;
Rint(6,1)=Rint_07;
Rint(7,1)=Rint_08;
Rint(8,1)=Rint_09;
Rint(9,1)=Rint_10;
Rint(10,1)=Rint_11;
Rint(11,1)=Rint_12;
Rint(12,1)=Rint_13;
Rint_media = mean([Rint_02, Rint_03, Rint_04, Rint_05, Rint_06, Rint_07, ...
Rint_08, Rint_09, Rint_10, Rint_11, Rint_12, Rint_13]%, Rint_14);
Rint_integrado=sum(Rint);

figure(6)
plot(Rint(:,1),'g--')
hold on
plot(Rstep(:,1),'r--')
legend('Rint', 'Rstep')
title('Comportamento do Rint e Rstep por Passo ')
xlabel('passos')
ylabel('Reconversão')
% *****
% %CALCULO DA CONGRUENCIA
% [congruenciapercentual]=congruencia(ec, epp,nl);%CHAMA A FUNÇÃO CONGRUENCIA!!!!!!!
deltaEc=diff(ec); %Calcula a variação da EC por meio da derivada
deltaEp=diff(epp); %Calcula a variação da EP por meio da derivada
deltaEC=interpft(deltaEc,nl); %Completa os valores que faltam por meio da interpolação
deltaEP=interpft(deltaEp,nl); %Completa os valores que faltam por meio da interpolação

prod=deltaEC.*deltaEP; % Produto das variações das energias
for cont=1:nl % Encontra os elementos maiores que zero
if prod(cont)>0 %
con(cont)=prod(cont);
else
naocon(cont)=prod(cont);
end
end

cong=con'; %Cong é a TRANSPOSTA de con
congr=find(cong); % Encontra os elementos congruentes
congru=length(congr); % Conta os frames onde as energias são congruentes
congruenciaper=(congru/nl)*100; % Calcula congruência percentual
% *****
% CÁLCULO DO ÂNGULO DE FASE (TIMING RELATIVO ENTRE ENERGIA CINÉTICA E POTENCIAL) (CAVAGNA, FRANZETTI, FUCHIMOTO,1983)
% angulo de fase=(delta tempo/T)*360graus+180graus
% onde, delta tempo é o intervalo entre a energia cinética mínima e a energia Pot máxima,
% T é o tempo de uma passada completa
% ESTUDIO DE LA PHASE SHIFT
nl2stride=nl/nstride;
ec_ps=ec(1:nl2stride);
epp_ps=epp(1:nl2stride); % Controlar se na EP deve ser a coluna 2, que é o eixo y.

ec_ps_min= min(ec_ps);
epp_ps_min= min(epp_ps);
frame_ec_min=find(ec_ps==ec_ps_min);
frame_epp_min=find(epp_ps==epp_ps_min);
phase_shift=(abs(abs(frame_ec_min)-abs(frame_epp_min)))/nl2stride)*360;%retorna o valor em graus
% *****
% Figuras

figure(7)
plot(vcm(:,1), 'bo')
hold on
plot(vcm(:,2), 'r--')

```

```

legend('velocidade cm na x', 'velocidade cm na y')
xlabel('quadros')
ylabel('velocidade linear(m.s-1)')

figure(8)
plot(Etot,'bo')
hold on
plot(ec,'r--')
plot(epp,'g--')
legend('en.total', 'en.cinetica', 'en.potencial')
xlabel('quadros')
ylabel('energia mecânica')

figure(9)
plot(cm(:,1),cm(:,2))
hold on
legend('posição do centro de massa' )
xlabel('cm em x')
ylabel('cm em y')

figure(10)
plot(cmd(:,11),'bo')
hold on
plot(cinematicafd(:,12),'r--')
plot(cinematicafd(:,3),'b--')
plot(cinematicafd(:,15),'g--')
legend('cm do tronco', 'quadril', '5metatarso', 'ombro')
xlabel('quadros')
ylabel('posição linear em y')
quam=(qua_d+qua_e)/2;
ombm=(omb_d+omb_e)/2;

% CALCULO DA "ENERGIA INTERNA"
% Energia cinética rotacional (I*w2/2)onde I é momento de inércia (raio de giração(ao quadrado)*massa seg) e w é vel ang
% calculo de raio de giração
rgg(:,1:3) = 0.139*( met_d - mal_d); % raio de giração do pe dir
rgg(:,4:6) = 0.102*( mal_d - joe_d); % raio de giração da perna dir
rgg(:,7:9) = 0.120*( joe_d - qua_d); % raio de giração da coxa dir
rgg(:,10:12) = 0.393*( quam - ombm); % raio de giração do tronco medio
rgg(:,13:15) = 0.173*( cot_d - omb_d); % raio de giração do braço dir
rgg(:,16:18) = 0.101*( pun_d - cot_d); % raio de giração do antebraço dir
rgg(:,19:21) = 0.139*( met_e - mal_e); % raio de giração do pe esq
rgg(:,22:24) = 0.102*( mal_e - joe_e); % raio de giração da perna esq
rgg(:,25:27) = 0.120*( joe_e - qua_e); % raio de giração da coxa esq
rgg(:,28:30) = 0.173*( cot_e - omb_e); % raio de giração do braço esq
rgg(:,31:33) = 0.101*( pun_e - cot_e); % raio de giração do antebraço esq
[nlrg ncrng]=size(rgg);
%raio de giração ao quadrado
for i=1:nlrg
rg2(i,:)=rgg(i,:).*rgg(i,:);
end
%mr= (Segment Weingh/Total Body Weight * pc de cada segmento corporal muchas veces esse calculo)
mr = [0.0132*pc 0.0426*pc 0.1424*pc 0.1471*pc 0.0274*pc 0.0160*pc 0.0132*pc 0.0426*pc 0.1424*pc 0.0274*pc 0.0160*pc];

for i=1:nlrg
I(i,:)=rg2(i,:).*mr;
end

%calculo da velocidade angular plano SAGITAL
ang(:,1) = atan2(mal_d(:,2)-met_d(:,2),mal_d(:,1)-met_d(:,1)); % pé direito
ang(:,2) = atan2(joe_d(:,2)-mal_d(:,2),joe_d(:,1)-mal_d(:,1)); % perna direita
ang(:,3) = atan2(qua_d(:,2)-joe_d(:,2),qua_d(:,1)-joe_d(:,1)); % coxa direita
%ang(:,4) = atan2(ombm(:,2)-quam(:,2),ombm(:,1)-quam(:,1)); % tronco
ang(:,5) = atan2(omb_d(:,2)-cot_d(:,2),omb_d(:,1)-cot_d(:,1)); % braço direito
ang(:,6) = atan2(cot_d(:,2)-pun_d(:,2),cot_d(:,1)-pun_d(:,1)); % antebraço direito
ang(:,7) = atan2(mal_e(:,2)-met_e(:,2),mal_e(:,1)-met_e(:,1)); % pé esq
ang(:,8) = atan2(joe_e(:,2)-mal_e(:,2),joe_e(:,1)-mal_e(:,1)); % perna esquerda
ang(:,9) = atan2(qua_e(:,2)-joe_e(:,2),qua_e(:,1)-joe_e(:,1)); % coxa esquerda
ang(:,10) = atan2(omb_e(:,2)-cot_e(:,2),omb_e(:,1)-cot_e(:,1)); % braço esquerdo
ang(:,11) = atan2(cot_e(:,2)-pun_e(:,2),cot_e(:,1)-pun_e(:,1)); % antebraço esquerdo

%calculo da velocidade angular no PLANO FRONTAL
ang(:,1) = atan2(mal_d(:,3)-met_d(:,3),mal_d(:,2)-met_d(:,2)); % pé direito
ang(:,2) = atan2(joe_d(:,3)-mal_d(:,3),joe_d(:,2)-mal_d(:,2)); % perna direita
ang(:,3) = atan2(qua_d(:,3)-joe_d(:,3),qua_d(:,2)-joe_d(:,2)); % coxa direita
%ang(:,4) = atan2(ombm(:,3)-quam(:,3),ombm(:,2)-quam(:,2)); % tronco
ang(:,5) = atan2(omb_d(:,3)-cot_d(:,3),omb_d(:,2)-cot_d(:,2)); % braço direito
ang(:,6) = atan2(cot_d(:,3)-pun_d(:,3),cot_d(:,2)-pun_d(:,2)); % antebraço direito
ang(:,7) = atan2(mal_e(:,3)-met_e(:,3),mal_e(:,2)-met_e(:,2)); % pé esq
ang(:,8) = atan2(joe_e(:,3)-mal_e(:,3),joe_e(:,2)-mal_e(:,2)); % perna esquerda
ang(:,9) = atan2(qua_e(:,3)-joe_e(:,3),qua_e(:,2)-joe_e(:,2)); % coxa esquerda
ang(:,10) = atan2(omb_e(:,3)-cot_e(:,3),omb_e(:,2)-cot_e(:,2)); % braço esquerdo
ang(:,11) = atan2(cot_e(:,3)-pun_e(:,3),cot_e(:,2)-pun_e(:,2)); % antebraço esquerdo
[nl nc]=size(ang);
%para retirar as transições pi e -pi (3,14)
for i=2:nl
for j=1:nc
while (ang(i,j)-ang(i-1,j) > 3.14),
ang(i,j) = ang(i,j) - 2*pi;
end
while (ang(i,j)-ang(i-1,j) < -3.14),
ang(i,j) = ang(i,j) + 2*pi;
end
end
end

vang(:,:)=diff(ang(:,:))./dt;
vvang=interpft(vang, nl); %matriz da vel ang no mesmo tamanho do momento de inércia(I)

%ENERGIA INTERNA ROTACIONAL (multiplica o raio de giração pela velocidade
%angular)

```

```

enintrr(:,:)=I(:,1:11).*(vvang.*abs(vvang));      %(:,1:11) acrescentado para converter 3d
enintrr(:,:)=enintrr*0.5;

% ENERGIA CINÉTICA INTERNA TRANSLACIONAL
% velocidade absoluta dos segmentos (velocidade em relação ao referencial externo)
vcms(:,1:3) = diff(cmd(:,1:3))./dt;                % velocidade do Centro de massa do pé dir
vcms(:,4:6) = diff(cmd(:,4:6))./dt;                % velocidade do Centro de massa da perna dir
vcms(:,7:9) = diff(cmd(:,7:9))./dt;                % velocidade do Centro de massa da coxa dir
vcms(:,10:12) = diff(cmtronco(:,1:3))./dt;         % velocidade do Centro de massa do tronco médio
vcms(:,13:15) = diff(cmd(:,13:15))./dt;            % velocidade do Centro de massa do braço dir
vcms(:,16:18) = diff(cmd(:,16:18))./dt;            % velocidade do Centro de massa do antebraço dir
vcms(:,19:21) = diff(cme(:,1:3))./dt;              % velocidade do Centro de massa do pé esq
vcms(:,22:24) = diff(cme(:,4:6))./dt;              % velocidade do Centro de massa da perna esq
vcms(:,25:27) = diff(cme(:,7:9))./dt;              % velocidade do Centro de massa da coxa esq
vcms(:,28:30) = diff(cme(:,13:15))./dt;            % velocidade do Centro de massa do braço esq
vcms(:,31:33) = diff(cme(:,16:18))./dt;            % velocidade do Centro de massa do antebraço esq
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% velocidade relativa dos segmentos (velocidade em relação ao centro de massa)
vrcms(:,1:3) = vcms(:,1:3)-vcm(:,1:3);             % velocidade rel do Centro de massa do pé dir
vrcms(:,4:6) = vcms(:,4:6)-vcm(:,1:3);             % velocidade rel do Centro de massa da perna dir
vrcms(:,7:9) = vcms(:,7:9)-vcm(:,1:3);             % velocidade rel do Centro de massa da coxa dir
vrcms(:,10:12) = vcms(:,10:12)-vcm(:,1:3);         % velocidade rel do Centro de massa do tronco médio
vrcms(:,13:15) = vcms(:,13:15)-vcm(:,1:3);         % velocidade rel do Centro de massa do braço dir
vrcms(:,16:18) = vcms(:,16:18)-vcm(:,1:3);         % velocidade rel do Centro de massa do antebraço dir
vrcms(:,19:21) = vcms(:,19:21)-vcm(:,1:3);         % velocidade rel do Centro de massa do pé esq
vrcms(:,22:24) = vcms(:,22:24)-vcm(:,1:3);         % velocidade rel do Centro de massa da perna esq
vrcms(:,25:27) = vcms(:,25:27)-vcm(:,1:3);         % velocidade rel do Centro de massa da coxa esq
vrcms(:,28:30) = vcms(:,28:30)-vcm(:,1:3);         % velocidade rel do Centro de massa do braço esq
vrcms(:,31:33) = vcms(:,31:33)-vcm(:,1:3);         % velocidade rel do Centro de massa do antebraço esq

%ENERGIA CINÉTICA translacional INTERNA
%velocidade ao quadrado
vrcms2=vrcms.*abs(vrcms)*0.5;
[nlinha ncoluna]=size(vrcms2);
[nl nc]=size(mr);
eninttt(1:nlinha,1:ncoluna)=0;
for i=1:nc
for j=1:3:ncoluna
eninttt(:,j:j+2)=vrcms2(:,j:j+2).*mr(1,i);
end
end

enintt=interpft(eninttt, nlinha+1);                %matriz da vel ang no mesmo tamanho do momento de inércia(I)

%cria matrizes separadas para x y e z
enintx(:,1)=(max(enintt(:,1))-min(enintt(:,1)))+enintt(:,1); % en interna do pé direito
enintx(:,2)=(max(enintt(:,4))-min(enintt(:,4)))+enintt(:,4); % en interna da perna direita
enintx(:,3)=(max(enintt(:,7))-min(enintt(:,7)))+enintt(:,7); % en interna da coxa direita
enintx(:,4)=(max(enintt(:,10))-min(enintt(:,10)))+enintt(:,10); % en interna do tronco
enintx(:,5)=(max(enintt(:,13))-min(enintt(:,13)))+enintt(:,13); % en interna do braço direito
enintx(:,6)=(max(enintt(:,16))-min(enintt(:,16)))+enintt(:,16); % en interna do ante-braço direito
enintx(:,7)=enintt(:,13); % en interna da mão direita
enintx(:,8)=(max(enintt(:,19))-min(enintt(:,19)))+enintt(:,19); % en interna do pé esquerdo
enintx(:,9)=(max(enintt(:,22))-min(enintt(:,22)))+enintt(:,22); % en interna da perna esquerda
enintx(:,10)=(max(enintt(:,25))-min(enintt(:,25)))+enintt(:,25); % en interna da coxa esquerda
enintx(:,11)=(max(enintt(:,28))-min(enintt(:,28)))+enintt(:,28); % en interna do braço esquerdo
enintx(:,12)=(max(enintt(:,31))-min(enintt(:,31)))+enintt(:,31); % en interna do ante-braço esquerdo
enintx(:,13)=enintt(:,25); % en interna da mão esquerda

eninty(:,1)=(max(enintt(:,2))-min(enintt(:,2)))+enintt(:,2); % en interna do pé direito
eninty(:,2)=(max(enintt(:,5))-min(enintt(:,5)))+enintt(:,5); % en interna da perna direita
eninty(:,3)=(max(enintt(:,8))-min(enintt(:,8)))+enintt(:,8); % en interna da coxa direita
eninty(:,4)=(max(enintt(:,11))-min(enintt(:,11)))+enintt(:,11); % en interna do tronco
eninty(:,5)=(max(enintt(:,14))-min(enintt(:,14)))+enintt(:,14); % en interna do braço direito
eninty(:,6)=(max(enintt(:,17))-min(enintt(:,17)))+enintt(:,17); % en interna do ante-braço direito
eninty(:,7)=enintt(:,14); % en interna da mão direita
eninty(:,8)=(max(enintt(:,20))-min(enintt(:,20)))+enintt(:,20); % en interna do pé esquerdo
eninty(:,9)=(max(enintt(:,23))-min(enintt(:,23)))+enintt(:,23); % en interna da perna esquerda
eninty(:,10)=(max(enintt(:,26))-min(enintt(:,26)))+enintt(:,26); % en interna da coxa esquerda
eninty(:,11)=(max(enintt(:,29))-min(enintt(:,29)))+enintt(:,29); % en interna do braço esquerdo
eninty(:,12)=(max(enintt(:,32))-min(enintt(:,32)))+enintt(:,32); % en interna do ante-braço esquerdo
eninty(:,13)=enintt(:,26); % en interna da mão esquerda

enintz(:,1)=(max(enintt(:,3))-min(enintt(:,3)))+enintt(:,3); % en interna do pé direito
enintz(:,2)=(max(enintt(:,6))-min(enintt(:,6)))+enintt(:,6); % en interna da perna direita
enintz(:,3)=(max(enintt(:,9))-min(enintt(:,9)))+enintt(:,9); % en interna da coxa direita
enintz(:,4)=(max(enintt(:,12))-min(enintt(:,12)))+enintt(:,12); % en interna do tronco
enintz(:,5)=(max(enintt(:,13))-min(enintt(:,13)))+enintt(:,13); % en interna do braço direito
enintz(:,6)=(max(enintt(:,16))-min(enintt(:,16)))+enintt(:,16); % en interna do ante-braço direito
enintz(:,7)=enintt(:,14); % en interna da mão direita
enintz(:,8)=(max(enintt(:,21))-min(enintt(:,21)))+enintt(:,21); % en interna do pé esquerdo
enintz(:,9)=(max(enintt(:,24))-min(enintt(:,24)))+enintt(:,24); % en interna da perna esquerda
enintz(:,10)=(max(enintt(:,27))-min(enintt(:,27)))+enintt(:,27); % en interna da coxa esquerda
enintz(:,11)=(max(enintt(:,30))-min(enintt(:,30)))+enintt(:,30); % en interna do braço esquerdo
enintz(:,12)=(max(enintt(:,33))-min(enintt(:,33)))+enintt(:,33); % en interna do ante-braço esquerdo

%energia interna total (rotacional + translacional)
%matriz com variáveis que farão parte do calculo da energia interna SEM TRANSFERÊNCIA (um pouco superestimado (+-10%))
enint=enintx+eninty+enintz+enintr;
difax=diff(enintx);
tmix=interpft(difax, nlinha+1); %matriz da derivada de ene int normalizado para tam inicial
tmix=sum(tmix,2);
for i=1:nlinha
if tmix(i) > 0
tmiposx(i)=tmix(i);
else
tmineggx(i)=tmix(i);
end
end

tmitx=sum(tmiposx)/nstride;
tminegx=sum(tmineggx);

```

```

dify=diff(eninty);
tmisy=interpft(dify, nlinha+1);          %matriz da derivada de ene int normalizado para tam inicial
tmiy=sum(tmisy,2);
for i=1:nlinha
if tmiy(i) > 0
tmiposy(i)=tmiy(i);
else
tmineggy(i)=tmiy(i);
end
end
tmiy=sum(tmiposy)/nstride;
tminegy=sum(tmineggy);

difz=diff(enintz);
tmisz=interpft(difz, nlinha+1);          %matriz da derivada de ene int normalizado para tam inicial
tmiz=sum(tmisz,2);
for i=1:nlinha
if tmiz(i) > 0
tmiposz(i)=tmiz(i);
else
tmineggz(i)=tmiz(i);
end
end

tmitz=sum(tmiposz)/nstride;
tminegz=sum(tmineggz);

difr=diff(enintr);
tmisr=interpft(difr, nlinha+1);          %matriz da derivada de ene int normalizado para tam inicial
tmir=sum(tmisr,2);
for i=1:nlinha
if tmir(i) > 0
tmiposr(i)=tmir(i);
else
tmineggr(i)=tmir(i);
end
end

tmitr=sum(tmiposr)/nstride;
tminegr=sum(tmineggr);

tmit= tmitx + tmiy + tmitz + tmitr;
tmineg= tminegx + tminegy + tminegz + tminegr;

% CALCULO DO TRABALHO MECANICO INTERNO na unidade da distancia e peso
tmitr=tmit/pc/dist;
% trabalho mecânico por kg por metro percorrido

% MATRIZ DA ENERGIA INTERNA COM TRANSFERÊNCIA ENTRE SEGMENTOS DO MESMO MEMBRO
%este calculo deve ser feito somando as curvas ek/tempo dos segmentos para cada membro (ex: pé, perna e coxa direita)
membro(:,1)=sum(enint(:,1:3),2);          %perna direita (pé, perna, coxa)
membro(:,2)=sum(enint(:,5:6),2);          %braço direito (mão, ante-braço, braço)
membro(:,3)=sum(enint(:,7:9),2);          %perna esquerda (pé, perna, coxa)
membro(:,4)=sum(enint(:,10:11),2);        %braço esquerdo (mão, ante-braço, braço)
membro(:,5)=enint(:,4);                  %tronco e cabeça

for i=1:nlinha
for j=1:5
if membro(i,j) > 0
membropos(i,j)=membro(i,j);
else
membroneg(i,j)=membro(i,j);
end
end
end
tmitmembro=sum(sum(membropos))/nstride;
tmitmembro=tmitmembro/dist/pc;

%calculo do trabalho interno predito pela eq. do Minetti (1998)
tcontato=stime(:,3)-stime(:,2);
tcontatom=mean(tcontato)*dt;
df=tcontatom/T;
tmitminetti=0.1*(1/T)*vh*(1+(df/(1-df))^2);

%CALCULO DO TRABALHO TOTAL
%SEM TRANSFERÊNCIA
ttotal=tmet+tmit;          %trabalho total sem transferência
ttotalr=ttotal/dist/pc;    %trabalho total sem transferência relativo à mc e dist (Joules por quilograma por metro
percorrido)

%COM TRANSFERÊNCIA ENTRE SEGMENTOS DE MESMOS MEMBROS
ttotalt=tmet+tmit;          %trabalho total COM transferência
ttotaltr=ttotalt/dist/pc;   %trabalho total COM transferência relativo à mc e dist (Joules por quilograma por metro
percorrido)
pmectotal=ttotalr*vh;      % pot mec total relativa em W/kg

%*****
disp ('qualé a pot met newsta velo? ');
pmet=input ('metabolical power: '); %em W/kg
C=pmet/vh; %cost of transport in j/kg/m

Eff=pmectotal/pmet;

dados=[tmetr, tmvtr, tmhtr, tmitr, ttotaltr, pmectotal, Recovery, Rstep_media, ...
Rint_media, Eff, pmet, C, dist, congruenciaperc, phase_shift, inc_maxima, inc_minima];
% Últimas alterações dia 20 de Outubro do 2010 revisão da rotina com Renata Bona.
% Últimas alterações dia 04 de Fevereiro do 2011 revisão da rotina com Renata Bona.

%salvar os dados de interesse
save 'dados.txt' dados -ascii;
%save 'dadosint.txt' dadosint -ascii;s
%save 'Etot.txt' Etot -ascii;

```

APÊNDICE B: CÁLCULO DO ERRO DA VELOCIDADE DA ESTEIRA

Comparação da velocidade do monitor da esteira rolante com a velocidade real da esteira

Foi realizada a comparação da velocidade indicada pelo monitor digital da esteira rolante com a velocidade analisada através da análise de vídeo. A avaliação dos resultados obtidos a partir do emprego da técnica de cinemetria foi realizada por meio do cálculo do erro relativo da velocidade.

A avaliação realizada iniciava com a filmagem de um marcador reflexivo colocado na cinta da esteira rolante.

Existia um marcador reflexivo na parte lateral e posterior à esteira rolante, como indicador do número de voltas da cinta da esteira (Setas amarelas da figura). O marcador reflexivo colocado na esteira rolante passava cinco vezes pelo marcador reflexivo indicador (Setas vermelhas da figura). E assim o tempo foi determinado, sendo este a quantidade de frames durante o período citado acima.

Tendo em consideração que velocidade (v):

$$v = \frac{d}{t}$$

Onde d é distância percorrida pelo marcador reflexivo colocado sobre a esteira rolante, e t é o tempo necessário para percorrer as cinco voltas.

Para termos conhecimento da distância da equação acima realizamos a medida do comprimento da cinta da esteira. Através de uma fita métrica foi determinada a distância em metros da cinta da esteira. Tendo um comprimento total de 2,84m.

Para obtermos o tempo necessário para o marcador reflexivo da cinta da esteira percorrer as cinco voltas (determinado pelo marcador de referência indicador localizado na parte lateral e posterior da esteira), foi utilizado o software Dvideow para a contagem dos frames. O número total de frames era convertido para tempo em segundos através da multiplicação dos frames pelo período (0,02s).

A partir destas informações obtínhamos o erro relativo da velocidade realizando a subtração do valor da velocidade marcado no monitor da esteira pela velocidade calculada a partir da análise do vídeo. Esse cálculo foi realizado para as velocidades de 1 até 6 km.h⁻¹ com incrementos de 1 km.h⁻¹, os resultados obtidos podem ser visualizados na tabela a seguir.

Para ser uma situação similar à coleta dois sujeitos de $\approx 70\pm 1$ kg caminharam sobre a esteira rolante nas diferentes velocidades (1, 2, 3 4, 5 e 6 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) sem carga e com carga (25% da sua MC) e nos diferentes planos (0%, 7% e 15%).



Figura: Coleta da Velocidade Real da Esteira Rolante. Diferentes velocidades de caminhada com e sem carga. **Acima:** caminhadas no plano. **Abaixo:** caminhadas a 15% de inclinação. **Setas Amarelas:** indicam a posição do marcador indicador. **Setas vermelhas:** indicam o sentido e deslocamento do marcador da esteira rolante.

Deste modo, o Erro relativo da Velocidade da esteira rolante foi de $0,02\pm 0,01$ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ para a situação do plano e de $0,03\pm 0,02$ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ para as situações inclinadas.

Tabela: apresenta os valores do erro relativo da esteira rolante. A velocidade dada pelo monitor da esteira, EP= Esteira Funcionando + Pessoa caminhando acima. EPC= Esteira Funcionando + Pessoa caminhando Com Carga acima. 7_EP= Esteira Funcionando a 7% de Inclinação + Pessoa caminhando acima. 7_EPC= Esteira Funcionando a 7% de Inclinação + Pessoa caminhando Com Carga acima. 15_EP= Esteira Funcionando a 15% de Inclinação + Pessoa caminhando acima. 15_EPC= Esteira Funcionando a 15% de Inclinação + Pessoa caminhando Com Carga acima.

Teste e Velocidade dada pelo Monitor da Esteira (km.h ⁻¹)	Tempo para realizar as 5 voltas (segundos)	Velocidade obtida pela Análise de Vídeo (km.h ⁻¹)	Erro Relativo (%)
EP 1	10,00	1,02	0,02
EPC 1	10,34	0,99	0,01
EP 2	4,90	2,09	0,04
EPC 2	5,04	2,03	0,01
EP 3	3,30	3,10	0,03
EPC 3	3,40	3,01	0,00
EP 4	2,50	4,09	0,02
EPC 4	2,50	4,09	0,02
EP 5	2,04	5,01	0,00
EPC 5	2,05	4,99	0,00
EP 6	1,70	6,01	0,00
EPC 6	1,72	5,94	0,01
		Média:	0,02
		DP:	0,01
7_EP 1	9,58	1,07	0,06
7_EPC 1	9,56	1,07	0,06
7_EP 2	4,91	2,08	0,04
7_EPC 2	5,01	2,04	0,02
7_EP 3	3,32	3,08	0,03
7_EPC 3	3,34	3,06	0,02
7_EP 4	2,50	4,09	0,02
7_EPC 4	2,57	3,98	0,01
7_EP 5	2,01	5,09	0,02
7_EPC	2,02	5,06	0,01
		Média:	0,03
		DP:	0,02
15_EP 1	9,59	1,07	0,06
15_EPC 1	9,42	1,09	0,08
15_EP 2	4,92	2,08	0,04
15_EPC 2	4,98	2,05	0,03
15_EP 3	3,33	3,07	0,02
15_EPC 3	3,34	3,06	0,02
15_EP 4	2,50	4,09	0,02
15_EPC 4	2,53	4,04	0,01
15_EP 5	2,01	5,09	0,02
15_EPC 5	2,03	5,04	0,01
		Média:	0,03
		DP:	0,02

APÊNDICE C: CÁLCULO DA ACURÁCIA DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO 3D

Cálculo da Acurácia do Sistema de Cinemetria 3D

Segundo Nigg e Herzog (1994), uma importante etapa para o cálculo para obtenção dos parâmetros mecânicos é sua avaliação. Nesse sentido realizamos uma estimativa da acurácia da reconstrução tridimensional.

A avaliação dos resultados obtidos a partir da técnica de cinemetria foi realizada por meio do cálculo da Acurácia (ANDRADE, ARAÚJO 2004; BARROS *et al.*, 2006). A acurácia representa a dispersão de um conjunto de dados em relação a um valor esperado o assumido como verdadeiro. Segundo Araujo, Andrade e Barros (2005), quanto mais baixo ou próximo do valor de zero for, o valor da acurácia, mais os resultados obtidos da reconstrução espacial estarão próximos ou iguais ao valor esperado, garantindo assim uma maior confiabilidade dos dados obtidos.

Foi analisada a variação da distância entre dois marcadores que estavam posicionados nas extremidades de uma haste rígida (de madeira), esperando que a variação de seu comprimento ficasse próxima de zero. Na mensuração direta da haste rígida com os marcadores reflexivos posicionados, obtivemos o valor de 1,02 metros de comprimento, o qual foi mensurado uma fita métrica.

Deste modo, o cálculo da acurácia do sistema de cinemetria foi realizado pela seguinte equação:

$$a^2 = b^2 + p^2$$

Onde a^2 é a acurácia ou exatidão da medida; b^2 é o bias ou o viés da medida, é dizer, é a diferença entre o valor médio do conjunto de medidas experimentais (cinemetria) e o valor esperado; p^2 é a precisão da medida, ou seja, é a medida de dispersão de um conjunto de dados em relação ao seu valor médio calculado pelo desvio padrão das medidas experimentais.

Os resultados da tabela demonstram a Acurácia do sistema 3D, a qual foi estimada a partir da comparação do valor real da distância entre os marcadores reflexivos colocados numa haste rígida de madeira, com o valor obtido por meio da reconstrução tridimensional.

Movimentos	Acurácia (mm)	Bias (mm)	Precisão (mm)	Acurácia Relativa (%)
Movimento 1	8	5	6,2	0,78 %
Movimento 2	9,6	5	8,2	0,94 %
Movimento 3	13,3	4,5	12,5	1,30 %
Média	10,3	4,8	9	1,01 %
DP	±2,7	±0,3	±3,2	±0,27 %

Tabela: representa os diferentes valores em Média e desvios padrão dos movimentos analisados no cálculo da acurácia do sistema. Movimento 1, sentido vertical; Movimento 2: sentido horizontal; Movimento 3: sentido rotacional.

Deste modo, as médias de nossos resultados indicam uma acurácia de 10,3 mm, uma precisão de 9 mm e um bias de 4,8 mm, deste modo a acurácia relativa à dimensão medida foi 1,01%, a qual pode ser justificada, segundo o estabelecido por Araujo *et al.* (2005) que afirma que o enquadramento das câmeras, pode afetar a acurácia relativa. Na determinação da acurácia deste estudo, foram utilizadas as quatro câmeras com o posicionamento empregado nas coletas. Contudo, segundo Barros *et al.* (1999) ao avaliar a diferença entre dois marcadores reflexivos em uma estrutura rígida, devem ser aceitáveis diferenças menores a 1% do valor medido.

Assim, como nossos resultados permaneceram próximos ao 1% do valor medido, podemos afirmar que há confiabilidade dos dados obtidos a partir dos dados de cinemetria.

9.1. TRABALHOS PUBLICADOS OU SUBEMTIDOS

GOMEŃUKA, N. A. ; SCHUCH, C.; BONA, R., FISCHER, G., PEYRÉ-TARTARUGA, L.A. The effects of anthropometric tables on mechanical work during gradient and loaded walking: a case study. In: SCIENCES, , Mountain, Sport & Health Updating Study and Research from Laboratory to Field, Rovereto, Italy, 2009.

PEYRÉ-TARTARUGA, L. A.; GOMEŃUKA, N. A. Biomecânica da caminhada em inclinações. *Tecnicouro*. Novo Hamburgo - Brasil: IBTeC. 253: 76-84 p. 2010.

GOMES DA ROSA, R; GOMEŃUKA, N. A. PEYRÉ-TARTARUGA, L. A. Custo de transporte da caminhada com carga na inclinação. *SIC – UFRGS*, 2010.

GOMEŃUKA, N. A.; GOMES DA ROSA, R. Inclinação do tronco e custo de transporte em diferentes velocidades de caminhada com carga em terreno inclinado. *Aceito para o XVII CONBRACE | IV CONICE, Porto Alegre - RS, 2011.*

BONA, R. L.; BONEZI DOS SANTOS, A.; STORNILO, J.; GOMEŃUKA, N. A. Comparação entre velocidade preferida, no solo e na esteira rolante, e velocidade ótima de amputados transfemorais. *Aceito para o XVII CONBRACE / IV CONICE, Porto Alegre – RS, 2011.*

GOMEŃUKA, N.A.; BONA, R.; SCHUCH, C.; PEYRÉ-TARTARUGA, L.A. Biomechanical aspects of loaded human locomotion. *Submetido na revista MOTRIZ. 30 de Julho, 2011.*