

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE E DO ESPORTE – CEFID  
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO**

**WLADYMYR KÜLKAMP**

**AJUSTE ALOMÉTRICO NA COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DE  
PRATICANTES DE EXERCÍCIOS RESISTIDOS**

**FLORIANÓPOLIS / SC**

**2010**

**WLADYMYR KÜLKAMP**

**AJUSTE ALOMÉTRICO NA COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DE  
PRATICANTES DE EXERCÍCIOS RESISTIDOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências do Movimento Humano.

Orientadora:  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Monique da Silva Gevaerd

Co-Orientador:  
Prof. Dr. Noé Gomes Borges Júnior

**FLORIANÓPOLIS / SC**

**2010**

**WLADYMYR KÜLKAMP**

**AJUSTE ALOMÉTRICO NA COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DE  
PRATICANTES DE EXERCÍCIOS RESISTIDOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano,  
como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências do Movimento Humano.

**Banca Examinadora**

Orientadora:

\_\_\_\_\_  
Profª Drª Monique da Silva Gevaerd  
CEFID / UDESC

Co-orientador

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Noé Gomes Borges Junior  
CEFID / UDESC

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Edio Luiz Petroski  
CDS / UDESC

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Marques Novo Junior  
UFJF

\_\_\_\_\_  
Profª Drª Susana C. Domenech  
CEFID / UDESC

**Florianópolis / SC, 02 de março de 2010.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar Aquele que nos concede tudo que é essencial, antes mesmo de pedirmos.

Agradeço em especial aos meus amores Clara e Clarissa, pela dedicação e provas constantes de amor incondicional, sincero e generoso.

Agradeço aos meus familiares, por ajudarem a construir a pessoa na qual me tornei.

Aos meus amigos e companheiros de mestrado, Jonathan e Marcelo, pela parceria e dedicação dignas de irmãos, obrigado.

A minha querida Orientadora, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Monique da Silva Gevaerd, por todo o apoio e dedicação zelosa, sou-lhe grato.

A toda equipe do MULTILAB e LABIN, obrigado pelos preciosos momentos que juntos desfrutamos.

Aos professores convidados para a banca examinadora, agradeço pela atenção e interesse demonstrados.

Agradeço ainda a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização do presente trabalho.

## RESUMO

KÜLKAMP, Wladimir. **Ajuste alométrico na comparação do desempenho de praticantes de exercícios resistidos**. 2010. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Movimento Humano - Área: Atividade Física e Saúde). Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, Florianópolis, 2010.

Em geral, acredita-se que o tamanho corporal representa um fator que afeta o desempenho em testes físicos e também em atividades do cotidiano, de maneira, pessoas mais altas e mais pesadas geralmente são mais fortes que as mais baixas e mais leves. A relação entre massa corporal (MC) e força muscular parece obedecer à lei de escala ou potência ( $Y=Y_0*MC^b$ ), onde a modelagem alométrica pode servir como ferramenta prática e útil para uma adequada comparação de indivíduos de diferentes massas corporais. O objetivo do presente trabalho foi verificar a adequação do ajuste alométrico na comparação do desempenho de praticantes de exercícios resistidos (ER). A mostra foi composta por 11 homens e 11 mulheres, praticantes de ER, não atletas, com média de idade de 22 anos. A verificação da adequação dos ajustes alométricos nos exercício supino reto, leg press e rosca direta foi realizada a partir de critérios de diagnóstico de regressões, com base na análise de resíduos (dispersão e homoscedasticidade) e na habilidade do modelo em isolar o efeito da MC. Os ajustes alométricos realizados no presente estudo geraram expoentes que foram menores para homens do que para mulheres e, em geral, maiores do que aqueles encontrados na literatura. Foi observado que os expoentes específicos, o teórico (0,67) e taxa padrão (força/MC<sup>1</sup>) proporcionaram ranqueamentos não correspondentes, discriminando de maneira diferente os indivíduos em relação à força de 1RM. Além disso, os homens se apresentaram mais fortes que as mulheres em todos os exercícios resistidos, mesmo quando a força era corrigida alometricamente, porém nesse caso em menor magnitude. Além disso, todos os ajustes atenderam satisfatoriamente aos critérios pré-estabelecidos, sendo que os problemas de distribuição residual apontados em modelagem alométrica do desempenho de atletas de levantamento de peso não foram observados no presente estudo. Isso indica que a alometria pode ser uma ferramenta adequada para isolar o efeito da MC no ajuste da força muscular de não-atletas, ao menos para a amostra em questão, principalmente quando comparada com o ajuste fornecido pela taxa padrão.

**Palavras chave:** normalização da massa corporal; força muscular; modelagem alométrica.

## ABSTRACT

KÜLKAMP, Wladimir. **Ajuste alométrico na comparação do desempenho de praticantes de exercícios resistidos**. 2010. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Movimento Humano - Área: Atividade Física e Saúde). Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, Florianópolis, 2010.

In general, the body size appears to represent a factor that affects the performance in physical tests and also in daily activities, in a manner that taller and heavier individuals are generally stronger than shorter and lighter ones. The relation between the body mass (BM) and the muscular power also seems to obey the power law ( $Y=Y_0*BM^b$ ), where the allometric modeling may serve as a practical and useful tool for the equal comparison of individuals with different body mass. The objective of the present work was to verify the suitability of the allometric scaling in the comparison of the performance obtained by individuals who practice resistance exercise (RE). The sample was composed by 11 men and 11 women non athletes, who practice RE, with an average age of 22. The verification of the suitability of the allometric scaling in the bench press, leg press and biceps curl was performed based on regression diagnostics criteria, related to the residual analysis (dispersion and homoscedasticity) and to the ability of the allometric model to provide a size-independent mass exponent. The allometric adjustments made in the present study generated exponents that were lower for men than for women and, in general, higher than the ones encountered in the literature. It was observed that the specific exponents, the theoretical (0,67) and the standard index (strength/MC<sup>1</sup>) provided non correspondent rankings, discriminating the individuals in a different manner considering 1RM strength. Furthermore, men were stronger than women in all the resistance exercises, even when the strength was adjusted through the use of allometry, in this case, however, in a reduced magnitude. All the adjustments complied in a satisfactory manner to the pre-established criteria, being that the problems in residual distribution pointed out in the allometric modeling of the performance of the weightlifting athletes were not observed in the present study. This indicates that the allometry may be an adequate tool to isolate the effect of the BM in the adjustment of the strength of non-athletes, at least for the analyzed sample, especially when compared to the adjustment provided by the standard index.

**Key words:** body weight scaling, muscular strength, allometric modeling regression.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 - Coletânea de estudos que utilizaram ajustes alométricos da força muscular.....	29
Quadro 2 - Caracterização da amostra.....	43
Quadro 3 - Desempenho de homens e mulheres nos testes de 1RM.....	43
Quadro 4 - Nível de correlação entre força muscular e massa corporal.....	44
Quadro 5 - Nível de correlação entre força muscular e Índice de Massa Corporal.....	44
Quadro 6 - Verificação da Circunstância Excepcional de Tanner (CET).....	45
Quadro 7 - Regressões log-lineares de cada situação específica.....	47
Quadro 8 - Ranqueamentos pelo expoente específico, pelo expoente 0,67 e pela taxa padrão.....	54
Quadro 9 - Comparação entre os expoentes específicos e o teórico, a partir dos valores do intervalo de confiança (IC).....	57
Quadro 10 - Equações únicas ajustadas pelo sexo, para cada ER.....	60
Quadro 11 - Equações de potência ajustadas pelo sexo.....	60
Quadro 12 - Comparação da força entre homens e mulheres.....	62
Quadro 13 - Julgamento das regressões específicas.....	65
Quadro 14 – Julgamento das regressões ajustadas pelo gênero.....	65
Figura 1 - Exercícios Leg Press 45°, Supino Reto e Rosca Direta.....	34
Figura 2 - Gráficos de resíduos das equações log-lineares separadas por sexo.....	66
Figura 3 - Gráficos de resíduos das regressões log-lineares ajustadas pelo sexo.....	67
Esquema 1 - Critérios de julgamento da adequação dos ajustes alométricos.....	40

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	8
1.1 O PROBLEMA .....	8
1.2 OBJETIVOS .....	13
1.2.1 Geral .....	13
1.2.2 Específicos .....	13
1.3 JUSTIFICATIVA .....	13
1.4 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS .....	16
1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA .....	17
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	18
2.1 PRESCRIÇÃO DE EXERCÍCIOS RESISTIDOS E AVALIAÇÃO DA FORÇA MUSCULAR.....	18
2.1.1 Recomendações gerais voltadas a pessoas saudáveis.....	18
2.1.2 Força Muscular .....	20
2.1.3 Testes de força muscular .....	21
2.2 LEIS DE POTÊNCIA OU ESCALA:.....	23
2.2.1 Breve histórico .....	23
2.2.2 Teoria da Similaridade Geométrica .....	25
2.2.3 Alometria .....	27
<b>3 MATERIAIS E MÉTODO</b> .....	31
3.1 POPULAÇÃO.....	31
3.2 AMOSTRA.....	31
3.3 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA .....	32
3.4 COLETA DE DADOS .....	33
3.5 LIMITAÇÕES DO ESTUDO .....	35
3.6 MATERIAIS E INSTRUMENTOS .....	36
3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS .....	37
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	42
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	72
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	75
ANEXO	



# AJUSTE ALOMÉTRICO NA COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DE PRATICANTES DE EXERCÍCIOS RESISTIDOS

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 O PROBLEMA

O treinamento resistido (TR), também conhecido como treinamento contra-resistido, treinamento de força, treinamento com pesos ou simplesmente como musculação, favorece o desenvolvimento e a manutenção dos níveis de força, podendo ser utilizado tanto na esfera do exercício físico voltado à saúde, quanto para fins de estética, aptidão e desempenho atlético (ACSM, 2009).

Ainda que sejam explícitos os benefícios do TR, a literatura apresenta lacunas no que diz respeito à precisão na quantificação das cargas de trabalho. Os modelos disponíveis estão relacionados ao uso de cargas relativas aos percentuais de força máxima (1RM) ou ainda ao uso de um número pré-determinado de repetições, baseado no *continuum* proposto por Fleck e Kraemer (1999). Embora à primeira vista pareçam satisfatórios, esses modelos devem ser utilizados com cautela, especialmente quando estiverem sob o crivo científico (PEREIRA; GOMES, 2003; KÜLKAMP, DIAS, WENTZ, 2009). Isso deve ser levado em conta, principalmente porque não parece haver uma relação fixa entre percentuais de 1RM e número de repetições. Além disso, o controle de outras variáveis como intervalo de descanso, frequência semanal, velocidade e ordem de execução dos exercícios parecem ter papel fundamental na qualidade da prescrição de exercícios resistidos (ER) (BIRD, TARPENNING, MARINO, 2005).

A medida da força muscular é fundamental, seja no âmbito do esporte ou da reabilitação, já que tanto a planificação de treinamentos quanto a elaboração de diagnósticos e protocolos de

reabilitação dependem quase sempre de uma avaliação adequada dessa variável (CRONIN e HANSEN, 2005). Testes de força têm sido utilizados para avaliar a função muscular de diferentes grupos de indivíduos, o que pode contribuir para identificação do perfil de atletas e de possíveis talentos para alguns esportes, bem como auxiliar na construção de valores normativos para avaliação de populações específicas (FERRUCI *et al.*, 1997; KÜLKAMP, DIAS, WENTZ, 2009).

Em geral, acredita-se que o tamanho corporal representa um fator que afeta o desempenho em testes físicos e também em atividades do cotidiano (NEVILL, RAMSBOTTOM e WILLIAMS, 1992; MARKOVIC; JARIC, 2004; FOLLAND; MC CAULEY; WILLIAMS, 2008). Desta maneira, pessoas mais altas e mais pesadas geralmente são mais fortes que as mais baixas e mais leves (JARIC, 2002).

A relação entre massa corporal (MC) e variáveis biológicas parece ser verdadeira para um amplo espectro de estruturas, dentre as quais podem ser destacadas, além da força muscular: a taxa metabólica de repouso do organismo como um todo (KLEIBER, 1932; MCMAHON, 1973), o consumo máximo de oxigênio (NEVILL; RAMSBOTTOM; WILLIAMS, 1992), a taxa de metabolismo celular, a frequência cardíaca, o crescimento máximo de uma espécie ou população e ainda o crescimento e desenvolvimento embrionários (SMIL, 2000; WEST; BROWN; ENQUIST, 1997).

Particularmente com relação à força muscular, além de uma série de variáveis que podem afetar seu desempenho (HILL, 1949; IKAI E FUKUNAGA, 1968; MAUGHAN, WATSON e WEIR, 1984), o efeito da MC tem despertado interesse de pesquisadores e profissionais da área do esporte (DAVIES, DALSKY, 1997; JARIC, 2002; MARKOVIC e SEKULIC, 2006; NEVILL, RAMSBOTTOM, WILLIAMS, 1992; STONE *et al.*, 2005; VANDERBURGH E DOOMAN, 2000).

Apesar disso, esse aspecto ainda é sobremaneira negligenciado na comparação da força entre indivíduos ou grupos, o que pode levar a interpretações equivocadas, especialmente quando existir a necessidade de comparação de amostras heterogêneas em MC (JARIC, 2002; ATKINS, 2004; KÜLKAMP, DIAS, WENTZ, 2009). Quando pesquisadores realizam algum tipo de ajuste (correção ou normalização) da força pela MC, na maioria das vezes ele é feito apenas levando-se em conta a taxa ou escala padrão, a qual é realizada pela divisão direta da força ou desempenho pela MC (FONTOURA, SCHNEIDER, MEYER, 2004). Essa relação direta ou linear é falaciosa (TANNER, 1949), já que admite que toda variação da força é devida exclusivamente às variações da MC, o que sabidamente não é verdadeiro (HILL, 1949; IKAI e FUKUNAGA, 1968; MAUGHAN, WATSON e WEIR, 1984; CLEATHER, 2006).

O comportamento escalar que define muitos fenômenos naturais pode ser descrito por equações não lineares chamadas leis de potência (LP), sendo que um dos âmbitos de sua aplicação é o estudo de sistemas biológicos (leis alométricas), cuja utilidade no esporte é recente e abre uma nova linha metodológica na pesquisa aplicada (GARCÍA-MANSO e MARTÍN-GONZÁLES, 2008).

Alometria é um termo que surgiu em 1936, derivado do grego *allios* (mudar ou mudança) e *metry* (medir), e refere-se ao estudo das mudanças nas partes de um organismo em relação ao todo, ou ainda, é o estudo do efeito do tamanho corporal nas dimensões e funções corporais (GAYON, 2000). A alometria permite estabelecer relações entre variáveis, independentemente da escala ou unidade de medida, de maneira que um fenômeno biológico (por exemplo, a força) pode ser ajustado ou normalizado pela MC ou outra variável antropométrica (JARIC, 2002; KERKHOFF e ENQUIST, 2009; WINTER e NEVILL, 2009).

A dependência de uma variável biológica  $Y$  em relação à massa corporal (MC) do organismo pode ser descrita pela seguinte equação alométrica (1):

$$Y = Y_0 \cdot MC^b \quad (1)$$

onde “b” é o expoente da escala e “Y0” uma constante característica do tipo de organismo (McMAHON, 1973).

Equações alométricas são propostas já de longa data como sendo mais adequadas do que equações lineares para descrever relações entre variáveis biológicas (GAYON, 2000; WINTER e NEVILL, 2009). Isso porque sua característica eminentemente multiplicativa garante linhas de regressão com intercepto zero, fenômeno biologicamente mais facilmente interpretável, já que a inexistência da variável independente não permite a ocorrência da dependente, ao contrário das regressões lineares ( $y = ax + b$ ) (GARCÍA-MANSO, MARTÍN-GONZÁLES, 2008; KERKHOFF e ENQUIST, 2009).

Embora o interesse pelo uso da alometria para correção ou normalização de variáveis biológicas tenha crescido nos últimos anos, ela tem sido utilizada especialmente pela área da Biologia, onde são comuns estudos comparando o crescimento e desenvolvimento de plantas e animais. No âmbito dos esportes, ajustes alométricos têm sido utilizados para comparação do consumo máximo de oxigênio (NEVILL; RAMSBOTTOM; WILLIAMS, 1992; BATTERHAM *et al.*, 1999, TARTARUGA *et al.*, 2008), da potência anaeróbia em cicloergômetros (FRANÇA, BEDU E PRAAGH, 1998), da força de prensão manual (VANDERBURGH; MAHAR e CHOU, 1995), do salto vertical (CHALLIS, 2004) e da força em levantamento de pesos (VANDERBURGH e DOOMEN, 2000; JARIC, 2002; MARKOVIC; JARIC, 2005; SHIMANO *et al.*, 2006).

Particularmente com relação a exercícios físicos que envolvem levantamento de pesos, é importante ressaltar que a relação entre a MC e a força muscular parece também obedecer à lei de escala ou potência, sendo que a Teoria da Similaridade Geométrica assume que a força muscular

deveria variar de acordo com a MC elevada ao expoente de 0,67 ( $MC^{0,67}$ ) (JARIC, 2002; MCMAHON, 1973).

Todavia, existem indícios de que os seres humanos parecem não ser geometricamente similares (NEVILL *et al.* (2004), o que faz com que outros valores de expoentes alométricos sejam experimentalmente encontrados por diferentes pesquisadores (BATTERHAM e GEORGE, 1997, CLEATHER, 2006; VANDERBURGH E DOOMAN, 2000; MARKOVIC e SEKILUC, 2006), incentivando a busca continuada da compreensão do fenômeno.

Apesar das diferenças entre o expoente teórico e os experimentalmente derivados, a relação não-linear entre MC e força está bem estabelecida, embora ainda sejam vistas tentativas equivocadas de normalização ou ajuste da força usando valores absolutos da MC (FONTOURA, SCHNEIDER, MEYER, 2004; THÉ e PLOUTZ-SNYDER; 2003).

Contudo, permanece na literatura uma lacuna quanto à adequação do uso de ajustes alométricos para correção da força de não-atletas, já que a maioria dos estudos encontrados investigou essa realidade apenas em atletas.

Diante do exposto, com base nos pressupostos relacionados à relativização entre força e MC em estudos de comparação de desempenho, algumas questões parecem ainda carecer de investigação. Apesar da indiscutível inadequação teórica do uso da taxa padrão para a correção da força muscular ( $F/MC^1$ ), será que existe diferença nos ajustes fornecidos por ela e pela alometria ( $F/MC^b$ ) em não-atletas? E ainda, o ajuste alométrico deveria ser feito utilizando-se o expoente padrão (0,67) indiscriminadamente, entre homens e mulheres e independentemente do tipo de ER, ou deveriam ser estabelecidos expoentes específicos?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Geral

Verificar a adequação do ajuste alométrico na comparação do desempenho de praticantes de exercícios resistidos, não atletas.

### 1.2.2 Específicos

- Ajustar alometricamente a força de 1RM pela MC de homens e mulheres separadamente, em diferentes exercícios resistidos, apontando os expoentes específicos de cada situação.
- Verificar se existe diferença no ranqueamento dos participantes, no que diz respeito à força em cada exercício, a partir do expoente alométrico específico, do teórico (0,67) e da taxa padrão.
- Verificar se existem diferenças na força entre homens e mulheres, quando corrigida alometricamente pela MC.
- Verificar a adequação dos ajustes alométricos com base em critérios de diagnóstico de regressões.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

O efeito das dimensões corporais sobre variáveis fisiológicas tem sido observado já de longa data e configura-se como uma tentativa de quantificar e precisar relações, assim como ocorre nas ciências exatas, de maneira a estabelecer leis e procedimentos universalmente aplicáveis. Principalmente devido ao sucesso da Física no início do século passado, outras ciências passaram a procurar modelos matemáticos que explicassem seus fenômenos.

No campo das ciências biológicas, depois da descoberta das relações entre metabolismo e dimensões corporais, e entre força muscular e área seccional transversa dos músculos, a corrida

na busca de equações gerais tornou-se uma constante, o que após o advento dos computadores tornou-se uma tarefa relativamente mais fácil de ser realizada.

Atualmente, o efeito das dimensões corporais nas respostas fisiológicas é parte crescente do universo da pesquisa científica, sendo que a relação entre MC e força muscular está longe de ter sua compreensão totalmente estabelecida. Isso se torna importante principalmente quando se leva em conta que a comparação de desempenho é uma prática comum na prescrição e controle do exercício físico voltado à saúde e ao esporte.

Ainda que a realização de testes de força seja essencial para prescrição de ER, os resultados das avaliações *per se* não representam ferramentas diagnósticas robustas. A ausência de valores normativos faz com que os profissionais de Educação Física, sejam eles pesquisadores, técnicos ou preparadores físicos, encontrem uma realidade conflitante, onde os resultados de seus estudos não podem ser fidedignamente comparados, pela falta de ferramentas que permitam algum tipo de equiparação. Sendo assim, como comparar pessoas quando elas forem muito diferentes em relação aos seus atributos físicos? Como garantir que o desempenho de pessoas é semelhante simplesmente porque os valores absolutos dos testes de força são parecidos?

A realidade da prescrição de ER, que apesar de contar com uma base teórica muito bem estruturada no que diz respeito aos fundamentos fisiológico-funcionais e biomecânicos, carece de ferramentas que permitam a elaboração de valores referenciais para grandes populações, especialmente quanto ao dimensionamento da sobrecarga de trabalho.

Embora o controle das variáveis carga e número de repetições permita uma prescrição, até certo ponto, segura e mesmo suficiente para a maioria dos indivíduos, aparece um obstáculo sempre que existe a necessidade de comparação entre diferentes indivíduos ou grupos, quer seja para o mero acompanhamento e avaliação dos protocolos de treinamento, comparação entre pesquisas ou para uma previsão longitudinal das metas de um atleta. O que se quer dizer com isso

é que, mesmo que saibamos qual é a força máxima de um indivíduo ou quantas repetições ele é capaz de realizar com uma determinada carga, ainda assim não podemos dizer o quanto isso é mais ou menos diferente de seus congêneres e, portanto, saber se é ou não suficiente ou adequado. Talvez no esporte isso seja um pouco mais fácil, já que os referenciais são os valores das melhores marcas de cada modalidade, ao contrário da prescrição de ER voltados à saúde, onde o dimensionamento das cargas muitas vezes é baseado apenas no conhecimento empírico do profissional.

Devido ao fato de que fenômenos naturais, entre eles a relação entre força muscular e MC, parecem obedecer à lei de potência, um crescente número de estudos tem sido observado, para verificar a adequação do ajuste alométrico nessas situações. Além de configurar-se como um método relativamente fácil de ser aprendido, conta com uma base teórica fortalecida e vem ganhando mais espaço e credibilidade no campo acadêmico-científico.

Todavia, dentro do universo aqui revisado, a maioria dos estudos trata apenas da alometria aplicada ao desempenho de atletas, sendo que a realidade dos não-atletas, principalmente os praticantes de ER, tem sido aparentemente negligenciada.

Por mais que a simples comparação da força de diferentes sujeitos ou grupos possa parecer à primeira vista corriqueiro, deve ser ressaltado que essa variável, enquanto manifestação funcional e não grandeza física, configura-se como uma das mais importantes variáveis relacionadas ao cotidiano das pessoas, inclusive na realização de suas atividades da vida diária, onde a MC parece ter uma influência significativa. Assim sendo, parece não apenas ser importante, mas fundamental a realização de pesquisas que investiguem a relação entre a força muscular e a MC das pessoas, especialmente em uma sociedade pluri-étnica, na qual a variação nas dimensões corporais é visível e muito bem evidenciada, inclusive pela moda.



Além da importância de ajustes alométricos para comparação equiparada ou equalizada da força muscular entre grupos ou sujeitos isoladamente, estudos que investiguem a qualidade desses ajustes em não-atletas podem auxiliar a construção de uma base teórica que permita garantir o uso da alometria na prescrição de ER como ferramenta padrão. Dessa forma, as planificações dos treinamentos poderiam ser realizadas com base em valores normativos universalmente aceitos e que permitissem a comparação de sujeitos levando-se em conta as diferentes compleições físicas e funcionais que envolvem a espécie humana. Inclusive a prescrição de ER para portadores de doenças poderia ser beneficiada, uma vez que os valores de referência para a população teoricamente saudável podem servir de base para a determinação de protocolos que respeitem as margens de segurança exigidas por diferentes patologias.

Em suma, o presente estudo justifica-se devido à escassez de pesquisas que investiguem a adequação do uso do modelo de ajuste alométrico em não-atletas, o que pode contribuir em muito para verificar a habilidade desse método em discriminar adequadamente diferentes grupos ou sujeitos em relação à força, isolando o efeito da MC. Adicionalmente, deve ser mencionado que a Educação Física, enquanto ciência do movimento humano, precisa de pesquisadores engajados no estudo de fenômenos que auxiliem não apenas a realidade acadêmica, mas que sejam passíveis de transferência imediata para a realidade dos profissionais que atuam diretamente com a prescrição de exercícios.

#### 1.4 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS

Desempenho: resultado dos testes de 1RM em cada exercício. Unidade de medida: quilograma (kg).

Massa corporal: resultado do registro na escala de uma balança quando o indivíduo está verticalmente sobre a mesma. Unidade de medida: quilograma (kg).

## 1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O presente estudo teve como proposta verificar a adequação do método alométrico na comparação da força ajustada pela MC de homens e mulheres não-atletas, praticantes de ER há pelo menos seis meses, participantes do projeto de extensão Condicionamento Físico para a Comunidade.

Não é desejo do pesquisador generalizar os resultados encontrados, nem encerrar a discussão a respeito da inter-relação entre as variáveis força muscular e MC e nem ao menos discutir a aplicação da alometria em outras áreas da ciência que não a do movimento humano.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 PRESCRIÇÃO DE EXERCÍCIOS RESISTIDOS E AVALIAÇÃO DA FORÇA MUSCULAR**

#### **2.1.1 Recomendações gerais voltadas a pessoas saudáveis**

Desde o início do século passado, onde as manifestações de força dos levantadores de peso faziam parte de espetáculos meramente exibicionistas, a prática de exercícios destinados ao aumento e manutenção da força muscular é concebida hoje como imprescindível em qualquer programa de exercícios físicos (ACSM, 2009), podendo ser utilizada tanto na esfera da prevenção e saúde, quanto para fins de estética, aptidão e desempenho atlético.

Dentre os exercícios mais comumente associados à realização de força estão os exercícios resistidos (ER), popularmente exemplificados como “musculação”, termo este de origem semântica francesa que representa a prática da realização de força. As atividades de levantamento de pesos realizadas em academias representam muito bem esse conceito, embora seja um equívoco considerá-las o único exemplo (TOUS, 1999).

A base da prescrição de ER para indivíduos saudáveis prevê a realização de 8 a 10 exercícios, que envolvam os principais grupamentos musculares, com ações concêntricas e excêntricas, realizados em séries de 8 a 12 repetições, com intervalos de descanso entre 1 e 2 minutos. É sugerido ainda que este modelo de prescrição sofra variações dentro de uma planificação ou periodização. Dessa maneira, com o avanço da capacidade física do praticante, a intensidade dos exercícios pode ser aumentada e séries com cargas que permitam menos repetições (1 a 6) podem também ser inseridas no programa de exercícios. A velocidade de execução, a ordem de realização dos exercícios e os métodos ou protocolos de treinamento

parecem também ser variáveis importantes a serem controladas para garantir a qualidade da prescrição (ACSM, 1998; 2009; BIRD, TARPENNING, MARINO, 2005).

Usualmente a prescrição é feita a partir de testes de uma repetição máxima (1RM), que é a maior carga que o indivíduo pode mover em uma única repetição, ou ainda a partir de testes de carga por repetição, onde os pesos são selecionados para um número pré-determinado de repetições máximas, por exemplo, 10 RM (PEREIRA; GOMES, 2003; TOUS, 1999). Testes de 1RM, além de proporcionarem a determinação da força absoluta do indivíduo, permitem que as cargas de treinamento sejam prescritas relativamente, ou seja, em percentuais selecionados de 1RM. A prescrição a partir de testes de carga por repetição baseia-se no *continuum* proposto por Fleck e Kraemer (1999). Esse modelo prevê que ganhos de força são mais pronunciados quando exercícios são realizados em intensidades de 1-6 RM, enquanto a hipertrofia é otimizada com cargas que permitam 6-12 RM e a resistência muscular localizada com cargas que possibilitem a execução de mais de 15 RM.

Ainda que testes de 1RM sejam seguros (PEREIRA e GOMES, 2003) e os testes de carga por repetição sejam uma rotina comum nos centros de treinamento para a saúde e o esporte, a associação entre os dois métodos parece não ser interessante. Muitos pesquisadores e profissionais do ER usam o dimensionamento de cargas e repetições a partir de percentuais de 1RM, na tentativa de garantir que indivíduos ou grupos exercitem-se na mesma intensidade relativa, proporcionando teoricamente adaptações fisiológicas semelhantes e comparações equitativas. Porém problemas existem quando é assumida uma relação linear entre número de repetições e percentuais das cargas de 1RM, já que para uma mesma carga relativa, o número de repetições máximas varia entre diferentes sujeitos e exercícios (HOEGER *et al.*, 1987; HOEGER *et al.*; 1990; KÜLKAMP, DIAS, WENTZ, 2009; SHIMANO, 2006; SALVADOR *et al.*, 2005).

Essa prática comum, de comparação de resultados na prescrição e controle do ER voltado à saúde e ao esporte, sugere a necessidade do estabelecimento de referenciais, inclusive no âmbito da pesquisa, que permitam a equiparação de cargas de diferentes indivíduos, ou ao menos, a minimização da variabilidade característica do ser humano (JARIC, 2002).

### 2.1.2 Força Muscular

Enquanto manifestação funcional e não grandeza física, a força é uma das mais importantes variáveis relacionadas ao cotidiano das pessoas (ACSM, 2009). Ela está envolvida em atividades que vão desde o simples fato de levantar-se ao acordar pela manhã, até a realização de tarefas extremamente árduas, como nas competições de levantamento de peso, onde os atletas são capazes de levantar acima da cabeça cargas que extrapolam em muito sua própria MC (CLEATHER, 2006).

Diferentes tipos de força são realizados no movimento humano, seja ele atlético ou cotidiano. Biomecanicamente assume-se que quando a interação ocorre entre partes constituintes do corpo humano (osso com osso, osso com tendões...) a força é dita interna. Quando a interação se dá entre o corpo humano e o ambiente externo a força é chamada externa. Essa força externa é realizada a partir de ações ou contrações musculares de encurtamento (concêntricas ou miométricas), de estiramento (excêntricas ou pliométricas) ou estáticas (isométricas) (ZATSIORSKY e KRAEMER, 2003), sendo difundido classicamente que existe uma diferença entre a máxima produção possível de cada uma delas em humanos (DOSS e KARPOVICH, 1965).

### 2.1.3 Testes de força muscular

A medida da força muscular é fundamental, seja no âmbito do esporte ou da reabilitação, já que tanto a planificação de treinamentos quanto a elaboração de diagnósticos e protocolos de reabilitação depende quase sempre dos resultados de sua avaliação (CRONIN e HANSEN, 2005; NOBORI e MARUYAMA, 2007).

A principal variável mensurada em avaliações da força muscular é a força máxima, que é a capacidade máxima de um músculo ou grupamento muscular de gerar tensão (ZATSORSKY e KRAEMER, 2003). No universo do treinamento resistido (TR), essa é freqüentemente medida por testes de uma repetição máxima (1RM), que por definição é a maior carga que pode ser gerada durante uma amplitude específica de movimento em uma única vez (PEREIRA e GOMES, 2003).

Quando a avaliação é realizada em dinamômetros isométricos, como os de preensão manual, a força é expressa em Newton (N). Esse tipo de avaliação é comumente realizado para fins de diagnóstico clínico (GERALDES *et al.*, 2008), mas também acontece no meio esportivo (BAKER *et al.*, 2001; BORGES JUNIOR *et al.*, 2009).

Quando são utilizados dinamômetros isocinéticos a variável mensurada é o Torque, sendo expresso em Newton-metro (Nm). Embora considerada por muitos como o melhor método de avaliação da força, os resultados deste tipo de teste devem ser analisados com cautela, já que a maioria dos gestos e movimentos naturais, sejam atléticos ou funcionais, não obedece ao critério intrínseco mais evidente de avaliações isocinéticas, que é a velocidade constante durante toda a amplitude de movimento (AQUINO *et al.*, 2007; TERRETI, GREVE, AMATUZZI, 2001).

Além dos dinamômetros isométricos e isocinéticos, ganham destaque hoje equipamentos baseados na aquisição de dados a partir de *encoders* rotatórios, que são componentes eletrônicos que, quando acoplados a uma barra com pesos, permitem a avaliação da potência e trabalho

musculares por meio do deslocamento linear da barra (BOSCO *et al.*, 2000; SIMÃO, MONTEIRO, ARAUJO, 2001). Esse tipo de avaliação tem se difundido pela capacidade de fornecer dados sem alterar drasticamente a natureza de execução dos exercícios.

Como mencionado anteriormente, no universo do treinamento resistido (TR), o teste de 1RM parece ser o mais o mais freqüentemente utilizado para avaliação da força dinâmica, especialmente pela sua baixa complexidade, baixo custo e segurança (DIAS *et al.*, 2005). Apesar disso, sua prática está mais associada à rotina de pesquisadores do que de profissionais de centros de treinamentos e academias (REYNOLD, GORDON, ROGERGS, 2006; PEREIRA; GOMES, 2003).

De uma maneira geral, acredita-se que o tamanho corporal representa um fator que afeta o desempenho em testes físicos e também em atividades do cotidiano (MARKOVIC; JARIC, 2004; FOLLAND; MC CAULEY; WILLIAMS, 2008), de maneira que pessoas mais altas e mais pesadas são geralmente mais fortes que as mais baixas e mais leves (JARIC, 2002).

Apesar de fortes evidências apontarem a relação entre MC e força muscular (DAVIES, DALSKY, 1997; JARIC, 2002; NEVILL, RAMSBOTTOM, WILLIAMS, 1992; VANDERBURGH, 1999; STONE, SANDS, PIERCE, 2005), um considerável número de pesquisas parece negligenciar a importância da normalização ou correção dos níveis de força pela MC, quando se tem como objetivo a comparação de diferentes sujeitos. Alguns estudos que utilizam algum tipo de correção limitam-se ao uso da chamada taxa padrão (FONTOURA; SCHNEIDER; MEYER, 2004; THÉ e PLOUTZ-SNYDER; 2003), a qual é realizada pela divisão direta da força ou desempenho pela MC (TANNER, 1949).

## 2.2 LEIS DE POTÊNCIA OU ESCALA

A intenção deste capítulo é que ele sirva para facilitar a compreensão da maneira como variáveis fisiológicas e medidas de desempenho podem ser ajustados pelas dimensões corporais, método este chamado de escalamento (*scaling*) e definido por leis de potência ou escala.

### 2.2.1 Breve histórico

É provável que o primeiro nome a aparecer entre os grandes colaboradores no estudo das relações entre as dimensões corporais foi o matemático Euclides (~325–265 a.C.), famoso pela elaboração da geometria de sólidos e planos. Euclides talvez não imaginasse que suas teorias a respeito da relação entre comprimentos, áreas e volumes de objetos seriam utilizadas no estudo de seres vivos (WINTER e NEVILL, 2001).

Outro grande personagem da história da humanidade que também teve participação no desenvolvimento das leis de escala foi Leonardo da Vinci. (~1452–1519), com seu Homem de Vitruvius ou Vitruviano. Da Vinci percebeu que além do atributo estético, era importante o estabelecimento de relações de proporcionalidade entre as partes do corpo para que, no momento da concepção, suas esculturas não desabassem por falta de alicerce ou equilíbrio (WINTER e NEVILL, 2001).

A descoberta da relação entre a taxa de metabolismo basal e a área de superfície corporal, realizada por Max Rubner (1854-1932), deu início a uma corrida na tentativa de definir em que proporção as dimensões corporais afetam variáveis fisiológicas.

Kleiber (1932) descobriu experimentalmente que a taxa metabólica basal de animais depende de sua massa corporal elevada a um expoente de 0,75 ( $MC^{0,75}$ ), expoente esse que difere daquele derivado da proposta de Rubner, que era de 0,67. Kleiber percebeu que essa relação era verdadeira para uma ampla variedade de animais, desde camundongos a elefantes, sendo que seu



livro “*The fire of life*” foi traduzido para várias línguas e o expoente confirmado para espécies tanto de sangue quente (ectotérmicos) quanto de sangue frio (endotérmicos), desde organismos unicelulares até baleias (SMILL, 2000).

O expoente 0,75 de Kleiber, diferentemente daquele proposto por Rubner (0,67), é enigmático porque não possui nenhuma relação óbvia com o arranjo das dimensões corporais, como sugerido pela teoria da Similaridade Geométrica, a ser apresentada no tópico a seguir.

Além da similaridade geométrica, outras teorias foram propostas para tentar explicar os mecanismos biológicos geradores do expoente encontrado experimentalmente por Kleiber, entre elas a Teoria da Similaridade Elástica (MCMAHON, 1973) e os pressupostos das redes fractais de West, Brown, Enquist (1997). Todavia, esse expoente, mesmo sendo confirmado por muitos estudos, continua sendo posto à prova ainda hoje (HOPPELER e WEIBEL, 2005).

A forma pela qual o tamanho e a função de organismos vivos estão intimamente relacionados continuou a ser estudada nas décadas posteriores a 1932 (ano de publicação dos achados de Kleiber em *Hilgardia*), merecendo especial destaque os achados de Tunner (1949). Ele foi o primeiro a identificar problemas quando são assumidas relações lineares entre variáveis biológicas ( $y = ax + b$ ), apontando que isso é falacioso porque assume que mesmo a inexistência da variável independente gera valores de variável dependente, o que é biologicamente impossível.

De acordo com Tunner (1949), a linearidade da relação entre variáveis biológicas só poderia ser aceita em condições restritas, em que a equação de regressão linear apresentasse intercepto zero e coeficiente de inclinação igual a 1. A esse conjunto de condições foi dado o nome de Circunstância Excepcional de Tanner - CET (WINTER e NEVILL, 2001), cuja equação é apresentada abaixo:

$$CV_x / CV_y = r \quad (2)$$

Na equação 2, “cvX” é o coeficiente de variação (cv) da variável independente (como a MC), “cvY” é cv da variável dependente (como a força) e “r” é o coeficiente de correlação de Pearson entre ambas. Assim sendo, a CET só pode ser aceita quando a divisão entre os coeficientes de variação das variáveis for igual ao coeficiente de correlação de Pearson (r) estabelecida entre elas.

Os apontamentos de Tunner (1949) colocam em cheque o uso da mais conhecida técnica de correção, escalamento ou normalização para comparar grupos ou indivíduos, chamada de taxa padrão (TANNER, 1949). Por meio dela, um desempenho atlético como a força, é dividido diretamente por uma variável antropométrica, como a MC. A variável fisiológica mais comum expressa a partir da taxa padrão é o consumo de oxigênio (VO<sub>2</sub>), apresentado geralmente em ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>.

Com relação ao efeito da massa corporal no desempenho atlético e em variáveis fisiológicas, a procura de expoentes para explicar essa relação cresceu vertiginosamente a partir da década de 1990 (BATTERHAM e GEORGE, 1997; CLEATHER, 2006; DAVIES, DALSKY, 1997; JARIC, 2002; NEVILL, RAMSBOTTOM, WILLIAMS, 1992; VANDERBURGH E DOOMAN, 2000; ZOELLER *et al.*, 2008) e sua aplicação na área do esporte abre uma nova linha metodológica de investigação (GARCÍA-MANSO, MARTÍN-GONZÁLES, 2008).

### 2.2.2 Teoria da Similaridade Geométrica

Hill (1949) propôs que a força (F) de contração de um músculo depende da sua área de secção transversal (d), sendo da ordem de poucos quilogramas por centímetro quadrado ( $F \sim d^2$ ).

De acordo com ele a questão essencial a respeito do tamanho corporal dos animais é que sua estrutura deve ser capaz de suportar seu próprio peso.

Conforme McMahon (1973), as conclusões de Hill são baseadas em uma “supersimplificada” similaridade geométrica. Essa teoria, também conhecida como similaridade biológica ou ainda escala isométrica (CHALLIS, 1999), assume que corpos humanos, por terem o mesmo formato, só diferenciam-se pelo tamanho.

A partir dessa presumida proporcionalidade geométrica, todas as medidas de área (*e.g.* área de secção transversal do músculo) seriam proporcionais a medidas de comprimento (*e.g.* estatura) elevadas ao quadrado ( $L^2$ ), bem como todas as medidas de volume (*e.g.* massa corporal) seriam proporcionais a medidas de comprimento elevadas ao cubo ( $L^3$ ). Assumindo o pressuposto de que a força é proporcional à área de secção transversal do músculo (HILL, 1949), por meio de reduções matemáticas é possível verificar que a força muscular deveria ser proporcional ao quadrado da estatura ou à MC elevada a um expoente de 0,67 ( $MC^{2/3}$ ) (JARIC, 2002).

Assim sendo, quando se deseja comparar a força de diferentes sujeitos retirando o efeito que a MC pode exercer, o expoente alométrico (b) padrão sugerido, assumindo-se os pressupostos de similaridade geométrica, é de dois-terços ( $MC^{0,67}$ ). Todavia, o sistema de alavancas em seres humanos parece não depender tanto das dimensões corporais, mas principalmente do aumento da área de sessão transversal do músculo, como previu inicialmente Hill (1949) e mensuraram posteriormente Ikai e Fukunaga (1968).

Neste sentido, a similaridade geométrica tem sido testada em grupos de atletas e não-atletas e os achados parecem confirmar que ela pode não acontecer na prática, ao menos na relação entre os perímetros de segmentos corporais e a MC (NEVILL *et al.*, 2004). Ainda assim, o expoente teórico 0,67 continua a ser sugerido por pesquisadores, principalmente quando não for

possível a derivação de um expoente amostra-específico (JARIC, 2002, ATKINS, 2004; JARIC; MIRKOV; MARKOVIC, 2005).

### 2.2.3 Alometria

O termo alometria, derivado do grego *allios* (mudar ou mudança) e *metry* (medir) (WINTER e NEVILL, 2009), surgiu em 1936, quando em um trabalho conjunto publicado simultaneamente na Inglaterra e na França, Julian Huxley e Georges Teissier concordaram em usar esse termo a fim de evitar “confusão” na ciência do crescimento relativo (GAYON, 2000).

A alometria permite estabelecer relações entre variáveis, de maneira que um fenômeno biológico (por exemplo, a força) pode ser ajustado ou normalizado pela MC ou outra variável antropométrica, independentemente da escala ou unidade de medida (JARIC, 2002; KERKHOFF e ENQUIST, 2009; WINTER e NEVILL, 2009).

A dependência de uma variável biológica Y em relação à massa corporal (MC) do organismo pode ser descrita pela seguinte equação alométrica (1):

$$Y = Y_0 \cdot MC^b \quad (1)$$

onde “b” é o expoente da escala e “Y<sub>0</sub>” uma constante multiplicadora específica do tipo de organismo (MCMAHON, 1973).

Uma das propriedades matemáticas das funções alométricas é sua equivalência com funções log-lineares. Ou seja, elas podem ser igualmente descritas por equações de reta obtidas a partir dos logaritmos naturais das variáveis (GARCIA-MANSO e MARTÍN-GONZÁLEZ, 2008; GAYON, 2000).

Ainda que existam críticas, no sentido de que o uso de regressões log-lineares pode distorcer a realidade dos dados pela normalização da variância das amostras e minimização da influência de valores discrepantes (PACKARD, 2009), isso não representa mera conveniência estatística. Seu uso está sim relacionado à linearização das funções de potência, o que permite a realização de análises estatísticas a partir de métodos mais consistentes e bem estabelecidos, que se desenvolveram para ajustar e modelar comportamentos lineares (GARCIA-MANSO e MARTÍN-GONZÁLEZ, 2008). Todavia, isso não altera a capacidade das funções de potência em representar a característica fundamentalmente multiplicativa inerente de seres vivos (KERKHOFF e ENQUIST, 2009).

Apesar de o expoente 0,67 ser indicado por alguns pesquisadores como uma forma generalizada e fácil de comparar sujeitos de diferentes massas corporais (ATKINS, 2004; JARIC, 2002; JARIC; MIRKOV; MARKOVIC, 2005), outros valores de expoentes alométricos têm sido observados experimentalmente, o que adicionado ao fato de seres humanos poderem não ser necessariamente similares geometricamente (NEVILL *et al.*, 2004), indica a necessidade de investigação continuada do fenômeno.

A literatura apresenta valores de expoentes alométricos que variam em magnitude e parecem depender do tipo de exercício (BATTERHAM e GEORGE, 1997; MARKOVIC e JARIC, 2004; CLEATHER, 2006), do sexo dos indivíduos amostra (MARKOVIC e SEKULIC, 2006), da adiposidade (FOLLAND), do índice de massa corporal (ZOELLER *et al.*, 2008) e da estatura (FORD *et al.*, 2000). Um apanhado de algumas pesquisas que utilizaram ajustes alométricos para correção da força muscular pela MC pode ser observado no quadro 1.

Apesar da disseminação do uso da alometria para comparação da força de diferentes indivíduos ou grupos, esse tipo de modelagem ou normalização vem sofrendo críticas com relação à qualidade dos ajustes fornecidos pelas retas de regressão log-lineares, principalmente no

REFERÊNCIA	Amostra	Exercícios	Expoentes para homens	Expoentes para mulheres
Cleather (2006)	<i>Powerlifters</i>	Agachamento Supino Lev. Terra	0,599, 0,633 0,49	0,613, 0,711 0,487
Batterham e George (1997)	<i>Weightlifters</i>	Soma do Arranque e Arremesso	0,48	0,45
Dooman e Vanderburgh (2000)	<i>Powerlifters</i>	Agachamento Supino	0,60 0,57	-----
Vanderburgh e Dooman (2000)	<i>Powerlifters</i>	Agachamento Supino Lev. Terra	-----	0,718 0,867 0,629
Markovic e Sekulic (2006)	<i>Weightlifters e Powerlifters</i>	Soma dos levantamentos em cada modalidade	0,61 ( <i>W-lifters</i> ) 0,69 ( <i>P-lifters</i> )	0,68 ( <i>W-lifters</i> ) 0,80 ( <i>P-lifters</i> )
Atkins (2004)	Jogadores de Rugby	FPM <sup>a</sup>	0,62 (MLG) <sup>c</sup> 0,63 (MC) <sup>d</sup>	-----
Vanderburgh, Mahar e Chou (1995)	Jovens em idade universitária	FPM <sup>a</sup>	0,54	0,475
Folland et al. (2008)	Não-atletas	Força isométrica extensores do joelho	0,66 <20% GC) <sup>e</sup> 0,45 (>20% GC) <sup>e</sup>	-----
Pua (2006)	Idosos	FPM <sup>a</sup> FDF <sup>b</sup> tornozelo	0,63 0,82	0,63 0,82
Vanderburgh e Batterham (1999)	<i>Powerlifters</i>	Agachamento Supino Lev. Terra	0,603 0,671 0,480	0,721 0,756 0,564
Vanderburgh, Sharp e Nindl (1998)	Militares	levantamento equipamento específico	0,697	0,726
Zoeller et al. (2007)	Praticantes de ER	Força Isométrica do Bíceps	0,64	-----
Zoeller et al. (2008)	Praticantes de ER	Força Isométrica do Bíceps	-----	1,48 (IMC <sup>f</sup> 20-25) 0,35 (IMC <sup>f</sup> >25)
Markovic e Jaric (2004)	Estudantes de Educação Física	Agachamento Supino Rosca Direta	0,42 0,69 0,65	-----

Quadro 1– Coletânea de alguns estudos que utilizaram ajustes alométricos da força muscular pela MC.

a=força de prensão manual; b=força de dorsi-flexão; c=massa livre de gordura; d=massa corporal; e=gordura corporal; f=índice de massa corporal

que diz respeito à penalização (ajuste desigual da força) de atletas de levantamento de peso com maiores e menores valores de MC. Nessas situações, a análise dos resíduos gerados pelas retas de

regressão apresentam um comportamento sistemático que impede assumir que o efeito da MC tenha sido completamente isolado (BATTERHAM e GEORGE, 1997; CLEATHER, 2006, VANDERBURGH E DOOMAN, 2000; DOOMAN e VANDERBURGH, 2000; MARKOVIC e SEKULIC, 2006).

Dessa forma, tem sido sugerido que a qualidade de ajustes alométricos deve ser investigada no momento do cálculo dos expoentes, utilizando como critérios a distribuição residual e a capacidade de independência entre a força alometricamente corrigida e a MC (NEVILL, BATE e HOLDER, 2005).

### **3 MATERIAIS E MÉTODO**

#### **3.1 POPULAÇÃO**

Participantes do Projeto de Extensão Condicionamento Físico para a Comunidade, protocolado na plataforma nacional de ações de extensão sob o número SIEX N°: 14886.118.6285.28092008.

#### **3.2 AMOSTRA**

Tendo em vista que a população apresentou bastante variação com relação ao estado de saúde, à idade e ao nível de condicionamento físico, a amostra foi selecionada intencionalmente de acordo com critérios de inclusão e exclusão para, com isso, torná-la mais representativa no estudo do fenômeno em questão.

Assim sendo, participaram da amostra 11 homens e 11 mulheres saudáveis, não-atletas, com médias de idade de 22,09 ( $\pm 3,24$ ) e 22,82 ( $\pm 2,99$ ) anos, respectivamente, praticantes de ER há pelo menos seis meses. Além disso, de modo a garantir ainda mais a familiaridade dos sujeitos com os protocolos do presente estudo, foram incluídos na amostra apenas indivíduos que já tivessem sido avaliados em testes de 1RM em ER, desde que não imediatamente (até 72 horas) antes das coletas.

Como critérios de exclusão foram utilizados: a existência de alguma incapacidade física, transitória ou permanente, que impedisse ou tornasse insegura a realização dos testes, bem como o uso de medicamentos que pudessem interferir no desempenho.



### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Quanto ao método utilizado, classicamente ele poderia ser considerado indutivo, o qual é baseado na construção do conhecimento a partir da experiência e observação, de maneira que a soma das constatações particulares leve à elaboração de generalizações (KÖCHE, 2005; SILVA e MENEZES, 2001). Isso pode ser aqui assumido já que o efeito das dimensões corporais nas respostas de variáveis fisiológicas vem sendo demonstrado experimentalmente por décadas (ATKINS, 2004; CLEATHER, 2006; HILL, 1949; KLEIBER, 1932; McMAHON, 1973). O silogismo da relação entre MC e força muscular, como uma premissa empírica, pode ser apresentado de acordo com o raciocínio abaixo:

Dimensões corporais afetam variáveis fisiológicas.

Massa corporal é uma dimensão corporal.

Força muscular é uma manifestação fisiológica.

Logo, a massa corporal afeta a força muscular.

Todavia, a abordagem do presente estudo pode transcender os conceitos clássicos do discurso indutivo, uma vez que sabidamente o radicalismo empírico é entendido hoje como incapaz de descrever inteiramente os fenômenos naturais, sejam eles de característica biológica ou social. Isso ficou bem estabelecido com a inversão da base epistemológica de Duhem, onde os alicerces do indutivismo foram minados e a teoria foi colocada como orientadora da experimentação. Como consequência, a existência de uma metodologia de investigação científica única, universal e atemporal parece ser totalmente inconcebível (KÖCHE, 2005; SILVA e MENEZES, 2001).

Além disso, o presente estudo não tem como pretensão contestar modelos teóricos e achados experimentais quanto à magnitude da relação entre as variáveis força muscular e massa corporal. Ele parte da aceitação dessa relação como premissa, propõe-se a investigá-la numa realidade de certa forma diferente das até agora investigadas, para então utilizar o conhecimento derivado na tentativa de solucionar problemas de origem prática.

Do ponto de vista da natureza do estudo, esta é uma pesquisa aplicada já que prevê a aplicação direta do conhecimento na solução de problemas específicos. Quanto à forma de abordagem ela é de característica quantitativa, já que pretende explicar através de números a relação entre as variáveis que são objetos do estudo. Quanto aos objetivos, a presente pesquisa é do tipo descritiva correlacional, uma vez que se propõe a examinar estreitamente a relação entre força e massa corporal (THOMAS e NELSON, 2002; SILVA e MENEZES, 2001; GIL, 1991)

### 3.4 COLETA DE DADOS

Primeiramente os indivíduos foram convidados a participar do estudo, sendo realizada a leitura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Neste termo constavam informações claras sobre os objetivos e procedimentos e os indivíduos que optaram pela participação voluntária no estudo assinaram o referido documento. O presente protocolo de coleta de dados foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Universidade do Estado de Santa Catarina, estando registrado sob o número 143/2009.

A sessão de avaliação constou das seguintes etapas:

1. Registro dos dados pessoais (nome, idade, sexo, endereço, telefone).
2. Avaliação antropométrica, com medidas de massa corporal (MC), estatura (E) e perímetro de abdômen (PA).
3. Testes de uma repetição máxima (1RM) em três diferentes exercícios resistidos.

Já que o local de coleta tinha à disposição um computador, todas as variáveis coletadas foram registradas, juntamente com o nome, endereço, telefone, idade e sexo dos sujeitos da amostra, diretamente em uma planilha do programa Microsoft Excel<sup>®</sup>, de maneira a possibilitar a análise e apresentação dos dados.

As medidas de MC, E e PA foram realizadas de acordo com a proposta de padronização de técnicas de medidas antropométricas compilada por Petroski (1999).

Quanto aos testes de 1RM, eles foram realizados em três exercícios distintos, a saber, *Leg Press 45°* (LP), *Supino Reto* (SR) e *Rosca Direta* (RD), sendo que os dois primeiros configuram-se como os mais frequentemente encontrados na literatura específica. O exercício RD também é comum em testes de 1RM (SILVA Jr *et al.* 2007) e foi acrescentado no protocolo de coleta de modo a verificar se o fenômeno que é objeto de estudo do presente trabalho manifesta-se da mesma forma em exercícios multi-articulares (como o SR e o LP) e uni-articulares (como a RD).



Fig. 1 – Exercícios Leg Press 45°, Supino Reto e Rosca Direta (da esquerda para a direita).

Apesar de alguns estudos sugerirem a necessidade de no mínimo três sessões de familiarização em protocolos de testes de carga máxima (DIAS *et al.* 2005), tem sido demonstrado que com alunos praticantes de musculação, um dia de testagem é suficiente para garantir a confiabilidade dos valores de 1RM (SILVA Jr *et al.* 2007).

Dessa forma, com relação aos procedimentos práticos dos testes, os sujeitos foram orientados inicialmente a realizarem um protocolo de aquecimento, composto por 5 minutos de exercício em cicloergômetro e 2 séries de 8 a 10 repetições em cada ER com cargas leves

(SHIMANO *et al.*, 2006), ou seja, que possibilitariam a realização de mais repetições caso fosse necessário. Após o aquecimento iniciaram-se as tentativas de determinação das cargas de 1RM nos exercícios, sendo que a ordem adotada foi SR, LP e RD, de maneira que dois exercícios de membros superiores não fossem realizados consecutivamente. Os indivíduos eram orientados a tentar realizar 2 repetições em cada tentativa. Em casos de êxito, ou quando nem ao menos uma repetição era completada, era dado um período de 3 a 5 minutos de intervalo para uma segunda tentativa, na qual adotava-se uma carga diferente da anterior. A carga seria superior se mais de 2 repetições tivessem sido completadas, e inferior caso nenhuma repetição tivesse sido possível. Uma terceira e última tentativa era realizada nos mesmos moldes da segunda, caso fosse necessário. Portanto, a carga de 1RM era determinada como aquela em que o indivíduo conseguisse realizar apenas uma repetição máxima nos exercícios, sem mudança significativa na técnica de execução dentro de toda a amplitude de movimento. Protocolos semelhantes a este foram também utilizados por Silva Jr *et al.* (2007) e Dias *et al.* (2005).

Essa rotina de até três tentativas possíveis para determinação da carga de 1RM foi repetida para cada um dos três exercícios, com um intervalo de ao menos 5 minutos entre eles. Apesar de que uma proposta mais próxima da ideal seria que os testes de carga máxima dos três exercícios fossem realizados em dias diferentes, testes de 1RM foram realizados também na mesma sessão em estudos de reconhecido valor científico (SHIMANO *et al.*, 2006; SILVA Jr *et al.*, 2007), sem prejuízo relatado em suas conclusões.

### 3.5 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Sem dúvida a maior limitação do presente estudo está relacionada ao tamanho da amostra, já que a construção de retas de regressão linear com poucos pontos pode ser inadequada.

Outra fonte de limitação diz respeito à falta de aleatoriedade na seleção da amostra, o que pode fazer com que os resultados aqui apresentados não reflitam a verdadeira realidade do fenômeno investigado.

Além disso, mesmo com a padronização do protocolo de coleta, não pode ser afirmado que o empenho dos sujeitos foi o mesmo durante a realização dos testes de 1RM, o que pode interferir na natureza dos resultados.

O uso da MC em detrimento da massa magra poderia ser também considerado uma limitação, já que essa última é uma variável biologicamente mais correlata com a força muscular. Todavia, tendo em vista o aporte teórico estar centrado principalmente no ajuste alométrico em relação à MC, de maneira a facilitar a posterior discussão dos dados, no presente estudo o ajuste alométrico da força foi realizado com base na MC.

### 3.6 MATERIAIS E INSTRUMENTOS

Equipamento de musculação Leg press 45°, marca Vitally®.

Equipamento de musculação Supino Reto 45°, marca Vitally®.

Barras de ferro de 1,80 m e 1,30m, para colocação de anilhas.

Anilhas de ferro marca Physicus®.

Balança digital Britania® modelo BE1, com 150 kg de carga máxima.

Estadiômetro WCS 217cm com plataforma, marca Cardiomed®.

Fita antropométrica, 2 m de comprimento; marca Mabbis®.

### 3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Inicialmente foram testadas quanto à normalidade, por meio do teste de Shapiro-Wilk, assimetria e curtose, as variáveis MC, estatura, IMC, bem como o desempenho (força) dos indivíduos em cada exercício resistido, separadamente para homens e mulheres.

Testes correlacionais foram então realizados, de modo a identificar a magnitude da relação entre as variáveis antropométricas citadas acima e a força muscular nos diferentes exercícios.

Os dados que caracterizam a amostra foram descritos como médias e desvios-padrão, e os testes correlacionais assim como os de normalidade, foram descritos a partir de seus valores absolutos e nível de significância, sendo todos apresentados na forma de quadros.

#### 3.7.1 Construção dos modelos alométricos

A Circunstância Excepcional de Tanner (CET) foi calculada para cada caso (homens e mulheres separadamente, em três diferentes exercícios resistidos), de maneira a verificar a existência de relação não linear entre força e MC e a necessidade de escalamento ou normalização por meio de ajuste alométrico. Se o resultado da divisão do coeficiente de variação (CV) da MC pelo CV da força fosse diferente da correlação de Pearson entre essas variáveis, os pressupostos de Tanner (1949) não seriam atendidos e os procedimentos necessários à construção do ajuste alométrico poderiam ser realizados. Mesmo quando valores muito próximos foram observados e a CET possivelmente encontrada, a construção de ajustes alométricos foi ainda assim realizada, tendo em vista os valores não significativos da correlação linear ( $p > 0,05$ ). Além disso, a não linearidade entre MC e força muscular tem sido apontada consistentemente na literatura (JARIC, 2002; WINTER e NEVILL, 2009), o que também justifica a construção de ajustes alométricos em todas as situações.

Regressões log-lineares foram então estabelecidas para cada situação específica, a partir dos logaritmos naturais dos valores de MC e força muscular de cada grupo, de acordo com o seguinte formato:

$$\mathbf{LnForça = (Ln a) + (b * LnMC) \quad (3)}$$

O *slope* (b) ou fator de inclinação de cada equação log-linear específica foi considerado como o expoente das equações alométricas de cada situação ( $Força = aMC^b$ ).

### 3.7.2 Comparação do ranqueamento

De maneira a comparar o ajuste ou normalização fornecido pelos expoentes alométricos específicos extraídos, o teórico (0,67) e a taxa padrão, foi realizado um ranqueamento de acordo com o desempenho em cada grupo e verificada a diferença nos postos (*ranks*). Essa verificação foi realizada inicialmente por meio de testes não-paramétricos de Friedman, mas independentemente dos resultados apontados pelo testes, foi realizada a inspeção visual dos ranqueamentos, tendo como critério que a alteração de apenas um posto já caracterizaria diferença.

### 3.7.3 Construção de um modelo alométrico único por exercício, ajustado pelo sexo.

A diferença entre as inclinações das retas de regressão log-linear de homens e mulheres, em cada exercício, foi verificada pela inclusão de um termo referente ao sexo (código 1 para homens e 2 para e mulheres) e de outro referente à interação da variável dependente (LnMC) com o sexo, em um modelo de regressão múltipla (equação 4), de maneira semelhante ao que foi

utilizado por Batterham e George (1997); Markovic e Sekulic (2006); Pua (2006); Vanderburgh, Sharp e Nindl (1998) e Winter e Nevill (2009).

$$\text{LnForça} = (\text{Ln } a) + (b * \text{LnMC}) + (c * \text{sexo}) + (d * \text{interação}) \quad (4)$$

A falta de significância estatística do termo de interação ( $p > 0,05$ ) em todas as regressões indicou a possibilidade de sua exclusão e a conseqüente construção de novas regressões múltiplas, de onde foram derivados os expoentes comuns para homens e mulheres em cada ER, o que permitiu a comparação entre os sexos a partir dos coeficientes multiplicadores das funções de potência masculinas e femininas, conforme proposto por Winter e Nevill (2009).

Assim sendo, para os homens o coeficiente multiplicador ( $Y_0$ ) da função de potência (equação 1) de cada exercício foi obtido a partir do cálculo do antilogaritmo da constante da equação log-linear respectiva. Para as mulheres, o coeficiente “ $Y_0$ ” em questão foi obtido pela adição da constante da equação log-linear ao valor do coeficiente relacionado ao sexo, com o cálculo subseqüente do antilogaritmo do resultado dessa soma. O expoente alométrico comum foi obtido a partir do valor absoluto do coeficiente multiplicador do LnMC, na equação log-linear de cada exercício (WINTER e NEVILL, 2009).

$$Y = Y_0 . MC^b \quad (1)$$

#### 3.7.4 Diagnóstico das regressões e julgamento da adequação dos ajustes alométricos:

Após a construção das regressões específicas e das regressões ajustadas pelo sexo, um diagnóstico delas foi realizado, de maneira a julgar a adequação do modelo alométrico. Os critérios desse julgamento, utilizados primeiramente por Batterham e George (1997) e seguidos



similarmente por Vanderburgh e Doman (2000), Cleather (2006), Pua (2006) e Zoeller et al., (2008), entre outros, são apresentados detalhadamente abaixo e também em forma esquemática.

1º critério: normalidade dos resíduos (valores mensurados – valores esperados), observada via teste de Shapiro-Wilk.

2º critério: homoscedasticidade (homogeneidade da variância dos resíduos), verificada por meio de teste de correlação entre os resíduos e o LnMC, e também pela inspeção visual do gráfico gerado por essas duas variáveis. A correlação entre os resíduos e o LnMC foi utilizada para identificar se os resíduos apresentavam um comportamento linear, e portanto, uma tendência que fugiria da aleatoriedade (sistemática), caracterizando que o efeito da MC não havia sido totalmente retirado. A inspeção visual serviu para verificar a existência de possíveis pontos influenciadores que caracterizassem esse efeito ainda permanente da MC, mesmo que ele não pudesse ser definido por uma função matemática linear. Todavia esse comportamento não-linear só seria levado em consideração, caso apresentasse um padrão sistemático e repetitivo em todas as situações.

Assim sendo, distribuição normal e aleatoriedade dos resíduos, associadas com baixa correlação linear com a variável preditora e ausência de comportamento residual não linear sugestivo, indicariam boa qualidade do ajuste alométrico em cada situação.

3º critério: Independência entre a função de potência (modelo alométrico) e a variável independente, testada por meio da correlação entre a força corrigida pelo modelo ( $F_{corr} = 1RM / MC^b$ ) e a MC absoluta. Falta de correlação linear apontaria adequação do modelo e sua habilidade em isolar o efeito da MC.

APTIDÃO DO MODELO = (normalidade dos resíduos) + (homoscedasticidade = Correlação entre Resíduos e LnMC + inspeção visual) + (correlação entre $F_{corr}$ e MC)
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Esquema 1 – critérios de julgamento da adequação dos ajustes alométricos.

Foram considerados adequados plenamente os modelos que atendiam a todos os critérios, e considerados parcialmente adequados aqueles que atendiam apenas a maior parte deles. Foram considerados inadequados os ajustes que fornecessem correlações significativas entre a força corrigida alometricamente e MC, pelo fato de o modelo não ser capaz de isolar completamente o efeito da MC, função esta a primordial neste tipo de técnica de normalização.

Em todos os testes em que se fez necessário foi adotado um nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis descritoras da amostra são apresentadas nos quadros 2 e 3, onde podem ser observados os valores médios de massa corporal (MC), estatura, Índice de Massa Corporal (IMC), perímetro de abdômen (PA) e desempenho nos testes de 1RM. A normalidade da distribuição dessas variáveis foi confirmada a partir do teste de Shapiro-Wilk ( $p > 0,05$ ), apesar de algumas delas apresentarem distribuição levemente platicúrtica. A distribuição normal dos dados se fez importante para garantir que correlações de caráter paramétrico pudessem ser realizadas, bem como o estabelecimento de regressões lineares adequadas a partir do método dos quadrados mínimos.

Observando-se o quadro 2 pode ser percebida a homogeneidade da amostra com relação às variáveis idade, IMC e PA. Com relação à idade, homens e mulheres encontram-se na mesma faixa etária, na qual não é esperado um declínio da força devido ao envelhecimento (DELBAERE, 2003; VIANNA, OLIVEIRA, ARAÚJO, 2007). Portanto, no presente estudo, o efeito da idade pôde ser descartado da relação entre MC e força. No que diz respeito à adiposidade, ainda que o percentual de gordura dos grupos não tenha sido avaliado, os valores de IMC e PA mostram que ambos os grupos não apresentam sobrepeso ou obesidade, tampouco elevada gordura abdominal (OMS, 1997).

Ainda que IMC e PA sejam fracos indicadores do percentual de gordura corporal, eles parecem ter boa associação com a adiposidade total e podem ser capazes de discriminar grupos com diferentes percentuais de gordura (FLEGAL *et al.*, 2009). Além disso, suas medidas vêm sendo utilizadas com sucesso em outros estudos, como indicativos de sobrepeso e obesidade, no caso do IMC (DOMINGOS-BENÍCIO *et al.*, 2004; SANTOS e SICHIERI, 2005), e de gordura central, no caso do PA (BJÖRNTORP, 1997; VAN DER KOOY, SEIDELL, 1993).

É especialmente importante a observação dos valores dessas variáveis, pois modelagens alométricas utilizando MC como variável independente podem ser fortemente afetadas pela gordura corporal (FOLLAND *et al.*, 2008) e pelo Índice de Massa Corporal (ZOELLER *et al.*, 2008). Neste sentido, ainda que a utilização da massa livre de gordura em ajustes alométricos da força seja recomendada (FOLLAND *et al.*, 2008; MARKOVIC e SEKULIC, 2006; TILLAAR e ETTEMA, 2004; WEIR *et al.*, 1999), o que é biologicamente mais compreensível, no presente estudo a adiposidade talvez não tenha interferido de maneira significativa para invalidar o uso da MC absoluta.

Outra variável que parece ter relação com a força é a estatura (FORD *et al.*, 2000). Todavia, tendo em vista a homogeneidade da amostra em relação a essa variável, o que pode ser constatado pelos baixos valores de desvios-padrão apresentados (quadro 2), o efeito da estatura também foi descartado da relação entre MC e força muscular, no presente estudo.

n	HOMENS		MULHERES	
	$\bar{x}$	dp	$\bar{x}$	dp
Idade (anos)	22,09	3,24	22,82	2,99
Massa corporal (kg)	69,91	8,14	55,92	5,94
Estatura (m)	1,75	0,09	1,65	0,09
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	22,86	2,16	20,67	2,02
Perímetro abdômen (m)	0,81	0,05	0,75	0,03

Quadro 2. Caracterização da amostra

O quadro 3 apresenta os valores médios dos testes de 1RM em cada exercício, onde é claramente observável que os homens são mais fortes que as mulheres em todos os exercícios. Todavia, a proporção ou tamanho dessa diferença será discutido mais adiante neste capítulo.

	HOMENS		MULHERES	
	$\bar{x}$	dp	$\bar{x}$	dp
Supino Reto (kg)	78,44	19,71	31,67	8,64
Leg Press 45° (kg)	272,28	38,77	184,73	36,56
Rosca Direta (kg)	40,34	8,98	18,73	2,37

Quadro 3. Desempenho de homens e mulheres nos testes de 1RM

Uma inspeção da correlação entre as variáveis descritoras da amostra revelou que o IMC apresentou o maior valor de correlação com o desempenho nos testes de 1RM em praticamente todas as situações. Todavia, tendo em vista o aporte teórico estar centrado principalmente no ajuste alométrico em relação à MC, de maneira a facilitar a posterior discussão dos dados, no presente estudo o ajuste alométrico da força foi realizado com base na MC. Além disso, sabendo-se da relação da força muscular também com outras variáveis influenciadoras (IKAI E FUKUNAGA,1968; MAUGHAN, WATSON e WEIR, 1984), talvez possa não ser adequado esperar valores elevados de correlação linear em um modelo apenas bidimensional (Força vs. MC), que inclusive parece ser melhor explicado por relações não-lineares (GARCÍA-MANSO e MARTÍN-GONZÁLEZ, 2008; KERKHOFF e ENQUIST, 2009; TANNER, 1949). Os quadros 4 e 5 apresentam os valores das correlações entre força muscular e MC e entre força muscular e IMC, respectivamente.

Exercício	HOMENS		MULHERES	
	Correlação		Correlação	
	r	“p”	r	“p”
Supino Reto x MC	0,430	0,187	0,484	0,131
Leg Press 45° x MC	0,285	0,458	0,551	0,079
Rosca Direta x MC	0,44	0,174	0,69	0,02

Quadro 4. Nível de correlação entre força muscular e massa corporal

Exercício	HOMENS		MULHERES	
	Correlação		Correlação	
	r	“p”	r	“p”
Supino Reto x IMC	0,903	<0,01	0,758	<0,01
Leg Press 45° x IMC	0,437	0,239	0,684	0,042
Rosca Direta x IMC	0,822	<0,01	0,607	0,048

Quadro 5. Nível de correlação entre força muscular e Índice de Massa Corporal

#### 4.1 CONSTRUÇÃO DOS MODELOS ALOMÉTRICOS

A Circunstância Excepcional de Tanner (CET) foi calculada para cada situação (homens e mulheres, separadamente, em 3 diferentes ER), como forma de identificar a relação não-linear entre MC e força muscular (desempenho de 1RM), e assim justificar o uso de ajustes alométricos. O quadro 6 apresenta os resultados dessa análise e a conclusão com relação à observação ou não da CET.

Exercício	HOMENS			MULHERES		
	cvMC/cvF	“r”	CET	cvMC/cvF	“r”	CET
Supino Reto	0,46	0,43	não	0,39	0,48	não
Leg Press 45°	0,76	0,28	não	0,54	0,55	sim
Rosca Direta	0,52	0,44	não	0,84	0,69	não

Quadro 6. Verificação da Circunstância Excepcional de Tanner (CET) (cv = coeficiente de variação; r = correlação de Pearson)

Cabe ressaltar que, embora os pressupostos de Tanner (1949) tenham sido aparentemente atendidos no exercício *Leg Press* feminino, dada à proximidade dos valores observados (o que caracterizaria uma relação linear neste caso), ainda assim a modelagem alométrica foi aplicada também nessa situação. Isso foi feito levando-se em conta a falta de significância estatística da correlação encontrada ( $p > 0,05$ ), bem como a característica da reta de regressão gerada pelas variáveis força e MC ( $\text{Força} = 3,3951 * \text{MC} - 5,1181$ ), onde foi verificado um intercepto diferente de zero e uma taxa de inclinação diferente de 1 (um). Isso difere da CET proposta por Tanner (1949) e representa um fenômeno biologicamente impossível, já que mesmo a inexistência de variável independente permite a existência, e ainda negativa, da variável dependente (NEVILL, BATE, HOLDER, 1995).

Atkins (2004), estudando modelagem alométrica em jogadores de Rugby, também utilizou a CET para justificar o uso de equações não-lineares para explicar a relação entre MC e força de prensão manual. Ele assumiu que os pressupostos determinados pela CET não tinham

sido atendidos, mesmo que em uma das situações valores próximos entre o quociente dos coeficientes de variação e a correlação de Pearson tenham sido observados, assim como aconteceu em alguns casos no presente estudo.

Com base nisso, foram então construídas regressões lineares para cada situação com base nos logaritmos naturais (Ln) das variáveis MC e força de 1RM, o que se configura como o mais tradicional modelo de ajuste alométrico, uma vez que permite a linearização da função de potência (equação 1), a qual seguem muitos fenômenos naturais (GARCIA-MANSO e MARTÍN-GONZÁLEZ, 2008). Ainda que existam críticas, no sentido de que seu uso distorce a realidade dos dados pela normalização da variância das amostras e minimização da influência de valores discrepantes (PACKARD, 2009), a linearização de uma função permite estudar as relações entre as variáveis a partir de métodos estatísticos mais consistentes e bem estabelecidos, que se desenvolveram para ajustar e modelar comportamentos lineares (GARCIA-MANSO e MARTÍN-GONZÁLEZ, 2008). Além disso, a função de potência e sua equivalente função log-linear não representam apenas uma conveniência estatística, elas tomam parte em um domínio geométrico, onde as variações são proporcionalmente representadas, independentemente do tamanho da escala, e além disso, são uma característica inerente de seres vivos, as quais devem ser representadas por modelos fundamentalmente multiplicativos e não aditivos (KERKHOFF e ENQUIST, 2009).

As equações derivadas do ajuste alométrico do desempenho de 1RM de homens e mulheres separadamente, nos diferentes ER, bem como os expoentes específicos extraídos e apresentados em valores arredondados, podem ser observados no quadro 7.

Apesar da construção de regressões com pequenas amostras representar um risco em modelos de predição, já que retas plotadas com poucos pontos podem gerar baixos valores de coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e representar inadequação, aqui esse fenômeno não deve ser

considerado como obstáculo para a construção dos ajustes alométricos, por dois motivos. O primeiro deles está relacionado ao fato de que valores baixos de  $R^2$  podem ser esperados em modelos alométricos bidimensionais, como apresentado anteriormente. O segundo motivo diz respeito ao fato de ajustes alométricos não serem modelos preditivos, mas sim uma técnica que se apropria de regressões para ser desenvolvida. Assim sendo, apesar de os resíduos serem parte dos critérios de análise no presente estudo, o que importa é sua distribuição e não a magnitude de seus valores. Além disso, pode ser ressaltado que um estudo alométrico de referência (VANDERBURGH e DOOMAN, 2000) foi realizado com um número ainda menor de pontos nos gráficos e publicado em um periódico de reconhecido valor científico.

HOMENS				
Exercício	Regressão Log-Linear	EPE	$R^2$ ( $R^2$ ajust) Log-Linear	Expoente
Supino	$\text{LnY}=(0,7305\text{LnX})+1,2331$	0,26	0,101 (0,001)	0,73
Leg Press	$\text{LnY}=(0,3518\text{LnX})+4,099$	0,14	0,078 (-0,054)	0,35
Rosca Dir.	$\text{LnY}=(0,7105\text{LnX})+0,6613$	0,22	0,137 (0,041)	0,71
MULHERES				
Exercício	Regressão Log-Linear	EPE	$R^2$ ( $R^2$ ajust) Log-Linear	Expoente Alométrico
Supino	$\text{LnY}=(1,2208\text{LnX})-1,4851$	0,24	0,241(0,157)	1,22
Leg Press	$\text{LnY}=(1,022\text{LnX})+1,0944$	0,17	0,324 (0,249)	1,02
Rosca Dir.	$\text{LnY}=(0,8544\text{LnX})-0,5109$	0,09	0,51 (0,455)	0,85

Quadro 7. Regressões log-lineares de cada situação específica

Com relação ao gênero, os expoentes masculinos foram menores que os femininos em todos os exercícios, o que está de acordo com os estudos envolvendo *powerlifters* isoladamente (CLEATHER, 2006; DOOMAN e VANDERBURGH, 2000; VANDERBURGH e BATTERHAM, 1999; VANDERBURGH e DOOMAN, 2000), com um estudo comparando modelagem alométrica entre *powerlifters* e *weightlifters* (MARKOVIC e SEKULIC, 2006), bem como com um estudo envolvendo militares (VANDERBURGH, SHARP e NINDL, 1998). Todavia é diferente do que foi observado por Batterham e George (1997) também estudando *weightlifters*, bem como do observado por Vanderburgh, Mahar e Chou (1995) e Zoeller *et al.*, (2007; 2008) estudando a



força de prensão manual, os quais encontraram maiores valores de expoentes alométricos para homens.

De acordo com Vanderburgh, Mahar e Chou (1995), devem ser esperados menores valores de expoentes alométricos para mulheres devido a sua maior quantidade de gordura corporal em relação aos homens. O mesmo foi observado por Folland *et al.* (2008) e Zoeller *et al.* (2008), no sentido que maiores expoentes alométricos devem ser observados para amostras com menor percentual de gordura e valores normais de IMC.

No presente estudo, mesmo que os valores de IMC e PA indiquem uma amostra não muito adiposa, pode ser esperado que as mulheres tenham um percentual de gordura maior do que os homens (OMS, 1997). Dessa forma, ainda que esteja em provável desacordo com os dados do presente estudo, seria fisiologicamente mais compreensível esperar maiores expoentes para amostras menos adiposas (no caso, os homens), já que uma MC com menor proporção de gordura provavelmente tem uma proporção maior de massa muscular, variável essa que tem relação biológica mais estreita com a força muscular (BRECHUE e ABE, 2002). Ou seja, quando se tem maior proporção de massa muscular dentro dos valores absolutos de MC, deve então ser esperado um maior expoente de ajuste alométrico, já que o valor absoluto da MC obviamente se aproxima mais dos valores de massa muscular.

No que diz respeito ao tipo de ER, devido à inexistência de estudos alométricos envolvendo *Leg Press*, os únicos exercícios que podem ter os expoentes alométricos comparados equiparadamente com a literatura são o Supino e, em menor escala a Rosca Direta, ainda que as amostras da maioria dos outros estudos sejam compostas por atletas.

Com relação ao Supino, o expoente para homens encontrado no presente estudo (0,73) não é muito distante do observado por Cleather (2006), Dooman e Vanderburgh (2000) e Vanderburgh e Batterham (1999), que analisaram atletas campeões de Levantamento de Potência

(*Powerlifting*) e observaram expoentes de 0,63, 0,57 e 0,67, respectivamente. Também se assemelha ao valor de 0,69 apresentado por Markovic e Jaric (2004), que avaliaram homens estudantes de Educação Física, e é próximo ainda do expoente alométrico teórico (0,67), derivado da Teoria da Similaridade Geométrica (McMAHON, 1973; JARIC, 2002). Quanto ao expoente do supino feminino, o valor observado no presente estudo (1,22) difere essencialmente daqueles encontrados por Cleather (2006), Vanderburgh e Batterham (1999) e Vanderburgh e Dooman (2000), que apontam os valores de 0,71; 0,756 e 0,867; respectivamente.

Ainda com relação ao expoente do supino feminino, vale a pena ser destacado que um expoente maior do que 1 (um) pode ser menos passível de explicação fisiológica, já que a MC teria que contribuir com uma proporção maior do que ela mesma. Ora, se uma das críticas à taxa padrão ( $F/MC^1$ ) diz respeito ao fato de ela assumir que toda a variação na força muscular é devida única e exclusivamente à variação na MC, o que sabidamente não é verdade (IKAI e FUKUNAGA, 1968; MAUGHAN, WATSON e WEIR, 1984), como pode ser possível conceber expoentes maiores do que 1 (um), como acontece aqui no supino feminino? Talvez isto reflita a necessidade, neste caso, de modelos de ajuste alométrico utilizando regressões múltiplas ou do uso da MLG como covariada ao invés da MC de forma única e absoluta. Um expoente maior que a unidade, ainda que para um exercício diferente do Supino, também foi observado por Zoeller *et al.* (2008). Os referidos autores identificaram um expoente de 1,48 para a força isométrica dos flexores do cotovelo de indivíduos com IMC dentro da normalidade e um expoente 0,35 para os que os que apresentavam sobrepeso.

Quanto ao ER *Leg Press*, ainda que a literatura careça de estudos alométricos com este tipo de exercício, pode ser aceitável uma comparação dos expoentes masculinos e femininos do presente estudo com os expoentes apontados na literatura para o exercício agachamento, tendo em vista sua similaridade com relação à ação cinesiológica de extensão do quadril. Sendo assim,

o expoente de 0,35 reportado aqui para homens, é substancialmente menor do que os reportados para o exercício Agachamento por Cleather (2006), Dooman e Vanderburgh (2000) e Vanderburgh e Batterham (1999), com valores de aproximadamente 0,6. Todavia, é bastante próximo do valor de 0,42 observado por Markovic e Jaric (2004). Quanto ao expoente feminino aqui apresentado (1,02), ele é maior do que aqueles apontados por Cleather (2006), Vanderburgh e Batterham (1999) e Vanderburgh e Dooman (2000), com valores de 0,613; 0,721 e 0,718, respectivamente. Além disso, ele é muito próximo do expoente da taxa padrão, o que pode dar indícios de que a negligência adotada com relação à observação da CET, no processo anterior à construção do ajuste alométrico, possivelmente agora aponta para a inadequação deste procedimento. Todavia, essa tomada de decisão, como dito anteriormente, está relacionada a um maior peso creditado pelo presente estudo em explicações biológicas do que matemáticas do fenômeno.

Com relação ao ER Rosca Direta, o universo literário que trata especificamente de modelagem alométrica, apresenta apenas o estudo de Markovic e Jaric (2004), que utilizaram o exercício Rosca Direta para avaliar a força dinâmica dos flexores do cotovelo de homens, e os estudos de Zoeller *et al.* (2007) e Zoeller *et al.* (2008), que avaliaram a força isométrica do referido grupo muscular em homens e mulheres, respectivamente. O expoente aqui observado para homens (0,71) é próximo daqueles reportados por Markovic e Jaric (2004) e Zoeller *et al.* (2007), com valores de 0,65 e 0,64, respectivamente. Com relação ao expoente feminino, o valor observado no presente estudo (0,85) é menor do que aquele apontado por Zoeller *et al.* (2008) para mulheres sem sobrepeso (1,48), apresentado anteriormente, o qual remete novamente à problemática relacionada a expoentes maiores do que a unidade, abordagem essa não realizada por esses últimos autores.

Assim sendo, os expoentes alométricos observados no presente estudo, se analisados em valores absolutos, são quase sempre superiores aqueles apontados na literatura, sendo as exceções relacionadas aos exercícios *Leg Press* masculino e a Rosca Direta feminino. Essa maior magnitude absoluta dos expoentes, observada na maior parte das situações, pode ser creditada ao fato de que a maioria das pesquisas aqui referenciadas utilizou o resultado de atletas em competições, de forma que o nível técnico e a motivação presentes na realização dos exercícios sejam possivelmente diferentes daqueles apresentados por não-atletas (BATTERHAM e GEORGE, 1997; CLEATHER, 2006), como é o caso do presente estudo. Ou seja, se o desempenho de atletas de levantamento de peso não pode ser exclusivamente creditado à força, a parcela da MC que contribuirá para o desempenho teoricamente deve ser menor do que em não-atletas, gerando por isso menores expoentes alométricos. Esse fenômeno é alusivo ao que foi explanado a respeito da influência da adiposidade na relação entre MC e força muscular.

Deve ser ressaltado novamente que os expoentes femininos foram maiores, iguais ou próximos à taxa padrão (expoente 1), o que não aconteceu com os homens. Ainda que possíveis explicações tenham sido anteriormente fornecidas e que esse fato sugira que a taxa padrão poderia ser utilizada para ajustar a força do sexo feminino no presente estudo, a análise dos ranqueamentos, apresentada a seguir, permitirá observar se de fato isso é verdadeiro, ainda que questionado teoricamente.

Outro ponto fundamental é que o tamanho da diferença entre os expoentes observados e aqueles encontrados na literatura pode ser menor do que os valores absolutos demonstram, já que na verdade os expoentes refletem o coeficiente de inclinação das retas de regressão log-lineares (*slopes*), onde valores aparentemente diferentes podem não contribuir significativamente para a alteração do ângulo de inclinação da reta (WINTER e NEVILL, 2009).

Assim sendo, diferentes maneiras poderiam ser utilizadas para comparar os expoentes alométricos derivados no presente estudo com aqueles apontados na literatura. Uma delas seria a partir de testes “t” para amostra única, conforme proposto por Markovic e Jaric (2004). Outra maneira seria por meio da observação dos expoentes contidos dentro de um intervalo de confiança pré-estabelecido na construção das regressões log-lineares, assim como proposto por Markovic e Sekulic (2006). Outra forma, a qual foi aqui utilizada, seria por meio da comparação dos ranqueamentos proporcionados pelos expoentes específicos e aqueles tomados como referência na literatura. Essas três técnicas serão apresentadas e discutidas no tópico seguinte.

#### 4.2 COMPARAÇÃO DO RANQUEAMENTO

A comparação aqui apresentada tomou como base o ranqueamento fornecido pelos expoentes alométricos específicos de cada situação do presente estudo (homens e mulheres, em três ER), e os ranqueamentos fornecidos pelo expoente teórico (0,67) e pela taxa padrão, nas mesmas situações. O expoente teórico foi utilizado como referência tendo em vista sua aparente proximidade dos expoentes apresentados na literatura, bem como pelo fato de ser recomendado por alguns autores para uso geral em ajustes alométricos da força (ATKINS, 2004; JARIC, 2002; MARKOVIC e JARIC, 2004; VANDERBURGH, 1999). Além disso, os expoentes encontrados na literatura foram em sua maioria derivados a partir de realidades diferentes das concernentes ao presente estudo (nível de condicionamento físico dos sujeitos, tipo de exercícios, grau técnico exigido, regime de contração muscular), o que dificultaria a escolha de algum que representasse um referencial seguro, especialmente devido à diferença entre eles.

Já a taxa padrão foi tomada também como referência, ainda que a base teórica relacionada à inadequação de seu uso seja indiscutível, como uma forma de verificar se os expoentes aqui

derivados, especialmente os mais próximos da unidade, são capazes de proporcionar na prática diferença significativa nos ranqueamentos em relação ao expoente de valor 1 (um).

O quadro 8 apresenta o ranqueamento de homens e mulheres separadamente, nos três ER, sendo os postos estabelecidos a partir da força absoluta, da força ajustada alometricamente pelo expoente específico, pelo teórico e pela taxa padrão. Nas duas últimas colunas de cada tabela, da esquerda para a direita, são apresentadas as mudanças em cada posto, sendo que a primeira delas indica a diferença encontrada entre o expoente específico em relação ao teórico, e a segunda a diferença entre o específico e à taxa padrão. Essas diferenças foram descritas de maneira absoluta, sendo que valores iguais a zero indicam nenhuma mudança nos postos e valores positivos e negativos indicam a quantidade de postos ascendentes e descendentes em relação ao ranqueamento de referência (expoente específico).

Testes não-paramétricos de Friedman falharam em identificar possíveis diferenças entre os ranqueamentos em cada situação ( $p > 0,05$ ), apesar de existirem mudanças visíveis nos postos. Dessa forma, a análise passou a ser feita por inspeção visual, tendo como critério que a alteração de apenas um posto já caracterizaria diferença.

Como pode ser observado no quadro 8, não foram encontradas diferenças nos ranqueamentos proporcionados pelo expoente teórico e o específico apenas no Supino (0,73) e na Rosca Direta (0,71) masculinos. Isso leva a crer que diferenças absolutas iguais ou inferiores a 0,06 pontos (0,73-0,67) entre expoentes podem não ser capazes de proporcionar ranqueamentos diferentes. Em todos os outros exercícios foram encontradas mudanças nos postos, quando comparados os expoentes específicos com o teórico (0,67), chamando a atenção o expoente derivado da Rosca Direta feminina (0,85), que aponta que diferenças de ao menos 0,18 pontos (0,85-0,67) podem gerar diferenças nos ranqueamentos.

Supino masculino

Fabs	0,73	0,67	T. Padrão	Dif 0,67	Dif T.padrão
1	1	1	1	0	0
2	2	2	3	0	-1
3	5	5	5	0	0
4	3	3	2	0	1
5	4	4	4	0	0
6	8	8	9	0	-1
7	7	7	7	0	0
8	9	9	8	0	1
9	6	6	6	0	0
10	10	10	10	0	0
11	11	11	11	0	0

Leg Press masculino

Fabs	0,35	0,67	T. Padrão	Dif 0,67	Dif T.padrão
1	1	1	1	0	0
2	2	4	4	-2	-2
3	4	3	3	1	1
4	3	2	2	1	1
5	7	9	9	-2	-2
6	8	7	8	1	0
7	6	6	6	0	0
8	5	5	5	0	0
9	9	8	7	1	2

Rosca Direta masculino

Fabs	0,71	0,67	T. Padrão	Dif 0,67	Dif T.padrão
1	2	2	3	0	-1
2	1	1	1	0	0
3	4	4	5	0	-1
4	3	3	2	0	1
5	5	5	6	0	-1
6	7	7	8	0	-1
7	6	6	4	0	2
8	8	8	7	0	1
9	9	9	9	0	0
10	11	11	11	0	0
11	10	10	10	0	0

Quadro 8. Diferenças no ranqueamento através do força absoluta, força corrigida pelo expoente específico, pelo expoente 0,67 e pela taxa padrão.

Supino feminino					
Fabs	1,22	0,67	T. Padrão	Dif 0,67	Dif T.padrão
1	2	1	2	1	0
2	3	3	3	0	0
3	1	2	1	-1	0
4	4	4	4	0	0
5	5	5	5	0	0
6	6	6	6	0	0
7	7	7	7	0	0
8	8	8	8	0	0
9	10	9	10	1	0
10	11	11	11	0	0
11	9	10	9	-1	0

Leg Press feminino					
Fabs	1,02	0,67	T. Padrão	Dif 0,67	Dif T.padrão
1	3	4	3	-1	0
2	4	5	4	-1	0
3	2	2	2	0	0
4	1	1	1	0	0
5	6	9	6	-3	0
6	8	10	8	-2	0
7	9	8	9	1	0
8	5	3	5	2	0
9	11	11	11	0	0
10	10	7	10	3	0
11	7	6	7	1	0

Rosca Direta feminino					
Fabs	0,85	0,67	T. Padrão	Dif 0,67	Dif T.padrão
1	2	2	3	0	-1
1	3	3	4	0	-1
3	1	1	1	0	0
4	5	5	5	0	0
5	7	7	8	0	-1
6	10	9	11	1	-1
7	4	4	2	0	2
8	6	6	6	0	0
9	9	8	9	1	0
10	8	10	7	-2	1
11	11	11	10	0	1

Quadro 8. Continuação

Com relação às diferenças nos ranqueamentos gerados pelos expoentes específicos e pela taxa padrão, o quadro 8 apresenta, como era esperado, que nenhuma diferença pôde ser evidenciada nos exercícios em que foram extraídos expoentes maiores que a unidade (Supino e



*Leg Press* femininos). Além disso, pode ser percebido que uma diferença de 0,15 pontos entre o expoente específico do exercício Rosca Direta feminino e a taxa padrão (1-0,85) foi capaz de ranquear de maneira diferente os indivíduos.

Assim sendo, ao menos para a amostra em questão, parece existir uma faixa de valores em que as diferenças nos expoentes não refletem ranqueamentos diferentes (abaixo de 0,7 pontos) e uma faixa em que os ranqueamentos podem ser essencialmente diferentes (acima de 0,14 pontos). Talvez isso esteja relacionado ao coeficiente de variação dos valores de força da amostra em cada situação, onde as diferenças de um indivíduo para o outro sejam grandes o suficiente para que diferenças mínimas nos expoentes não permitam ranqueamentos diferentes. A existência dessas faixas sensíveis a diferenças pode questionar o uso do cálculo de médias como uma técnica válida para determinação de expoentes comuns, assim como fizeram Folland, Mc Cauley e Williams (2008), em sua investigação a respeito de ajustes alométricos de força isométrica e torque.

Vanderburgh, Sharp e Nindl (1998), analisando os problemas relacionados à comparação da força entre homens e mulheres a partir de análise de covariância tradicional, também observaram diferenças nos ajustes fornecidos pelo expoente específico e pela taxa padrão. A partir do cálculo dos valores médios das forças corrigidas por ambos os métodos, eles concluíram que o uso da taxa padrão superestima a força das mulheres em relação ao uso do expoente alométrico específico, apresentando diferenças teoricamente menos aceitáveis.

Markovic e Jaric (2004) utilizaram teste “t” de amostra única para verificar se existia diferença entre os expoentes por eles encontrados em 6 tipos de exercícios dinâmicos (entre eles supino, agachamento e rosca direta) e o expoente 0,67. Os autores concluíram que o expoente teórico poderia ser utilizado para corrigir a força em todos esses exercícios, pela falta de significância estatística apresentada no teste “t” ( $p > 0,05$ ). Deve ser chamada a atenção que isso foi assumido, mesmo que um expoente de 0,27 tenha sido observado para a força de prensão

manual, o que pode levantar alguma suspeita quanto à sensibilidade do teste e à validade desse tipo de metodologia.

Já Markovic e Seculic (2006), comparando modelagem alométrica entre *powerlifters* e *weightlifters*, também se propuseram a identificar se os expoentes observados por eles em cada modalidade, em homens e mulheres, não apresentavam diferença significativa em relação ao expoente 0,67, derivado da Teoria da Similaridade Geométrica. Para tanto, os autores utilizaram como método a observação dos expoentes contidos dentro do intervalo de confiança (IC), por eles estabelecido (95%) no momento da construção das regressões log-lineares. Dessa maneira, quando o expoente 0,67 estava contido dentro desse IC, não era considerado diferente dos expoentes específicos derivados no referido estudo.

No presente estudo, a utilização da metodologia adotada por Markovic e Seculic (2006) não foi possível, tendo em vista que os baixos valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) das regressões log-lineares geraram intervalos de confiança muito grandes, que abarcaram desde valores de expoentes negativos a positivos. Isso é ilustrado abaixo, no quadro 9.

Exercício	$R^2$	Expoente Específico	95% IC
Supino Masculino	0,101	0,73	-0,91 – 2,37
Leg Press Masculino	0,078	0,35	-0,73 – 1,43
Rosca D. Masculino	0,137	0,71	-0,63 – 2,05
Supino Feminino	0,241	1,22	-0,41 – 2,85
Leg Press Feminino	0,324	1,02	-0,09 – 2,14
Rosca D. Feminino	0,510	0,85	0,22 – 1,49

Quadro 9. Comparação entre os expoentes específicos e o teórico, a partir dos valores do intervalo de confiança (IC).

Assim sendo, devido à inexistência de trabalhos científicos que tenham realizado este tipo de análise por ranqueamento, a comparação dos resultados do presente estudo fica prejudicada.

Todavia, por se tratar de uma análise que não depende de testes de probabilidade estatística e que pode ser facilmente replicada em futuros estudos, seu mérito pode ser julgado pela interpretação dos resultados em si mesmos. Além disso, esse tipo de abordagem permite questionar a validade da adoção indiscriminada do expoente 0,67 para normalização ou ajuste da força muscular pela MC, como proposto por alguns autores (ATKINS, 2004; JARIC, 2002; MARKOVIC e JARIC, 2004; VANDERBURGH, 1999).

Apesar de comparações tão apuradas da força serem aparentemente mais importantes em campeonatos de levantamento de peso, nos quais a mudança de um só posto pode resultar em premiação, o estudo do ranqueamento de não-atletas a partir de diferentes expoentes pode auxiliar na construção de um modelo mais preciso de ajuste alométrico para prescrição de ER voltados à saúde. Ou seja, a comparação de ranqueamentos permitiria um ajuste fino para saber, na prática, o quanto as diferenças absolutas dos expoentes podem ser refletidas na discriminação dos grupos quanto à força (faixas sensíveis à diferença), permitindo dentro de uma gama restrita de expoentes, a adoção de um que fosse padrão.

#### 4.3 CONSTRUÇÃO DE UM MODELO ALOMÉTRICO ÚNICO POR EXERCÍCIO, AJUSTADO PELO SEXO

Como inicialmente detectou Tanner (1949) e posteriormente fortaleceram Vanderburgh, Sharp e Nindl (1998), uma comparação adequada entre grupos só pode ser realizada se eles apresentarem retas de regressão paralelas (*slopes* paralelos). Assim sendo, a força de homens e mulheres só poderia ser comparada, atendendo ao terceiro objetivo específico do presente trabalho, se os expoentes alométricos de ambos fossem os mesmos ou caso as inclinações das retas de regressão log-lineares não apresentassem diferença estatisticamente significativa.

Dessa forma, dada a falta de semelhança observada nos expoentes masculinos e femininos, a existência de diferença entre as inclinações das retas de regressão de homens e mulheres, em cada exercício, foi testada pela inclusão de um termo referente ao sexo (código 1 para homens e 2 para e mulheres) e de outro referente à interação da variável dependente (LnMC) com o sexo, em um modelo de regressão múltipla, de maneira semelhante ao que foi utilizado por Batterham e George (1997); Markovic e Sekulic (2006); Pua (2006); Vanderburgh, Sharp e Nindl (1998) e Winter e Nevill (2009).

A falta de significância estatística do termo de interação ( $p > 0,05$ ) descartou a necessidade de utilização de expoentes diferentes para homens e mulheres em cada ER, permitindo então o uso de um expoente comum derivado de uma nova regressão múltipla ajustada pelo sexo, sem o termo de interação. As novas regressões em cada ER revelaram termos relacionados ao gênero estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ), levando a ser feita a comparação da força entre homens e mulheres a partir dos coeficientes multiplicadores das funções de potência. O quadro 10 apresenta as regressões log-lineares múltiplas ajustadas pelo sexo.

Inclinações semelhantes de retas de regressões para homens e mulheres também foram identificadas por Vanderburgh, Sharp e Nindl (1998) em *powerlifters* e Batterham e George (1997) em *weightlifters*. Já Markovic e Sekulic (2006), ao comparar atletas de *powerlifting* e *weightlifting*, observaram um termo de interação com o sexo estatisticamente significativo, impedindo a derivação de um expoente único para homens e mulheres. Segundo Vanderburgh, Sharp e Nindl (1998) e Winter e Nevill (2009), isso impede a comparação, pois indica grupos qualitativamente diferentes.

A partir das equações apresentadas no quadro 10, foi possível derivar as funções de potência específicas de homens e mulheres em cada ER, agora com um mesmo expoente alométrico.

Exercício	Regressão Log-Linear
Supino	$\text{LnY}=(0,957\text{LnX}) + (-0,697 \text{ Sexo}) + 0,972$
Leg Press	$\text{LnY}=(0,724\text{LnX}) + (-0,223 \text{ Sexo}) + 2,737$
Rosca Dir.	$\text{LnY}=(0,777\text{LnX}) + (-0,579 \text{ Sexo}) + 0,959$

Quadro 10 - Equações únicas ajustadas pelo sexo, para cada ER  
Sexo = 1 para homens e 2 para mulheres

Assim como proposto por Winter e Nevill (2009), para os homens o coeficiente multiplicador (Y0) da função de potência (equação 1) de cada exercício foi obtido a partir do cálculo do antilogarítmo da constante da equação log-linear respectiva. Para as mulheres, o coeficiente “Y0” em questão foi obtido pela adição da constante da equação log-linear ao valor do coeficiente relacionado ao sexo, com o cálculo subsequente do antilogarítmo do resultado dessa soma. O expoente alométrico comum foi obtido a partir do valor absoluto do coeficiente multiplicador do LnX, na equação log-linear de cada exercício. As funções de potência ajustadas pelo sexo e os respectivos expoentes alométricos derivados, cujos valores foram arredondados, podem ser observados no quadro 11.

HOMENS			
Exercício	Regressão Log-Linear	Função de Potência	Expoente Alométrico
Supino	$\text{LnY}=(0,957\text{LnX}) + 0,972$	$2,64\text{MC}^{0,96}$	0,96
Leg Press	$\text{LnY}=(0,724\text{LnX}) + 2,737$	$15,44\text{MC}^{0,72}$	0,72
Rosca Dir.	$\text{LnY}=(0,777\text{LnX}) + 0,959$	$2,61\text{MC}^{0,78}$	0,78
MULHERES			
Exercício	Regressão Log-Linear	Equação Alométrica	Expoente Alométrico
Supino	$\text{LnY}=(0,957\text{LnX}) + 0,275$	$1,32\text{MC}^{0,96}$	0,96
Leg Press	$\text{LnY}=(0,724\text{LnX}) + 2,514$	$12,35\text{MC}^{0,72}$	0,72
Rosca Dir.	$\text{LnY}=(0,777\text{LnX}) + 0,380$	$1,46\text{MC}^{0,78}$	0,78

Quadro 11. Equações de potência ajustadas pelo sexo

Os resultados do presente estudo (quadro 12) apontam que os homens são mais fortes que as mulheres, em todos os exercícios resistidos. Todavia, essa diferença não tem a mesma

magnitude quando a força é comparada absolutamente e a partir dos valores corrigidos alometricamente. Como pode ser observado, as médias dos valores absolutos apontam que os homens são mais fortes que as mulheres aproximadamente 2,5, 1,5 e 2,15 vezes, nos exercícios Supino, *Leg Press* e Rosca Direta, respectivamente. Entretanto, quando os valores do coeficiente multiplicador da função de potência ajustada pelo sexo ( $Y_0$ ) são utilizados como referência, a diferença da força entre homens e mulheres é menor, sendo os homens mais fortes que as mulheres, aproximadamente 2, 1,25 e 1,75 vezes, nos mesmos exercícios respectivos. Isso está de acordo com achados prévios, que apontam que em valores absolutos homens são mais fortes que mulheres (EBBEN e JENSEN, 1998), mas que as diferenças em força diminuem e até mesmo desaparecem quando ela é calculada relativamente, por exemplo, a partir da área de secção transversal do músculo (IKAI e FUKUNAGA, 1968). Vale chamar a atenção que essas diferenças aqui apresentadas são biologicamente muito mais concebíveis do que se fossem utilizadas como referência, por exemplo, as médias das forças corrigidas de cada sexo a partir dos expoentes alométricos específicos, já que isso resultaria em valores absurdamente inferiores de força para as mulheres.

As diferenças proporcionais entre homens e mulheres, já apontadas no parágrafo anterior, podem ser observadas no quadro 12, agora em percentuais da força das mulheres em relação aos homens, tanto em valores absolutos quanto corrigidos alometricamente.

Outros estudos utilizaram esses mesmos procedimentos a fim de comparar a força de homens e mulheres. Batterham e George (1997) identificaram que a força de homens *powerlifters*, quando comparada absolutamente, era 1,75 vez maior que de mulheres *powerlifters*. Todavia, assim como no presente estudo, essa diferença caía quando a força era modelada alometricamente com interação do sexo, passando para 1,5 vez a força das mulheres.

Vanderburgh, Sharp e Nindl (1998) identificaram que a superioridade na força de homens militares, em relação às suas congêneres, caía de 103,7% em valores absolutos para 74,5%, quando corrigida alometricamente (homens ~1,75 mais fortes).

	A partir das médias dos valores absolutos (kg)		
	HOMENS	MULHERES	% Força mulheres em relação aos homens
Supino Reto	78,44	31,67	40
Leg Press 45°	272,28	184,73	68
Rosca Direta	40,34	18,73	46
	A partir do coeficiente alométrico “Y0”		
	HOMENS	MULHERES	% Força mulheres em relação aos homens
Supino Reto	2,64	1,32	50
Leg Press 45°	15,44	12,35	80
Rosca Direta	2,61	1,46	56

Quadro 12. Comparação da força entre homens e mulheres

Pua (2006), analisando alometricamente o desempenho físico de idosos, não apresentou claramente a diferença na força de preensão manual (FPM) e força de dorsi-flexão do tornozelo (FDFT) entre homens e mulheres. Contudo, após alguns cálculos serem feitos a partir dos dados da tabela 3 de seu estudo, pôde ser verificado que os homens apresentaram uma FPM 1,26 vez maior que a das mulheres e uma FDFT apenas 1,07 vez maior. Também analisando FPM, mas em jovens com idade universitária, Vanderburgh, Mahar e Chou (1995) identificaram que os homens eram 1,41 vez mais fortes que suas congêneres.

Cabe ainda ressaltar que o método aqui utilizado para verificar a diferença entre os *slopes* de homens e mulheres em cada ER (termo de interação com o sexo), não foi capaz de identificar uma diferença, por exemplo de 0,67 pontos (1,02 – 0,35), entre os expoentes alométricos dos exercícios *Leg Press* masculino e feminino, apesar de a verificação por ranqueamento apresentada no capítulo anterior, ter apontado que diferenças acima de 0,14 pontos entre

expoentes já são capazes de proporcionar ranqueamentos diferentes. Isso quer dizer que ranqueamentos diferentes podem ser gerados por expoentes alométricos tidos como estatisticamente semelhantes, fato esse que deve ser levado em conta no momento da escolha de um expoente a partir, por exemplo, dos valores apresentados pelo intervalo de confiança estabelecido. Ainda assim, a utilização de um termo de interação com o sexo parece ser válida, pelo fato de não dispormos de outras ferramentas de comparação e pelo fato de os resultados aqui apresentados serem compatíveis com outros estudos.

#### 4.4 DIAGNÓSTICO DAS REGRESSÕES E JULGAMENTO DA ADEQUAÇÃO DOS AJUSTES ALOMÉTRICOS

Apesar da disseminação do uso da alometria para comparação da força de diferentes indivíduos ou grupos, esse tipo de modelagem ou normalização vem sofrendo críticas com relação à qualidade dos ajustes fornecidos pelas retas de regressão log-lineares (BATTERHAM e GEORGE, 1997; CLEATHER, 2006), especialmente no que diz respeito à penalização (ajuste desigual da força) de indivíduos com maiores e menores valores de MC.

A verificação da adequação dos ajustes alométricos aqui realizados foi baseada em um conjunto de critérios para o diagnóstico de regressões, utilizado anteriormente em outros estudos, que envolve normalidade e homoscedasticidade dos resíduos, bem como independência entre a função de potência (equação alométrica) e a variável independente. Esse último critério foi considerado o mais importante, tendo em vista ser capaz de julgar a habilidade dos ajustes em eliminar o efeito da MC. Os resultados de cada critério adotado, bem como o julgamento final da adequação dos modelos alométricos específicos (homens e mulheres separadamente) e ajustados pelo sexo, podem ser observados nos quadros 13 e 14, respectivamente.



Com relação ao critério normalidade de distribuição dos resíduos, apenas no exercício Supino masculino os resíduos não apresentaram comportamento Gaussiano ( $p < 0,05$ ). Em todas as outras regressões a normalidade das distribuições foi observada.

No que diz respeito à homoscedasticidade, todas as regressões forneceram bom ajuste, de maneira que em nenhuma delas foram observados valores significativos de correlação entre os resíduos e o LnMC, descartando a possibilidade de um comportamento sistemático linear. Da mesma forma, a inspeção visual dos gráficos de resíduos (figuras 2 e 3) mostrou que também não parece haver uma linha de tendência diferente de uma reta que seja perceptível e que possa ser definida adequadamente sempre por meio de uma mesma função matemática, o que caracterizaria uma sistematização não-linear.

Ainda que alguma concentração de resíduos possa ser identificada (figura 3), ela não configura-se como padrão e pode estar relacionada ao tamanho da amostra, já que um número pequeno de pontos pode mascarar a verdadeira realidade dos dados. Isso fica evidente quando o número de pontos no gráfico é aumentado, por meio das regressões únicas para homens e mulheres, onde os resíduos não apresentam qualquer comportamento sistematizado ou de penalização em faixas específicas da variável independente (figura 4).

Com relação ao último e principal critério, relacionado à habilidade dos ajustes alométricos em proporcionar índices de força independentes da MC, todas as regressões log-lineares proporcionaram modelos satisfatórios, já que não foi observada correlação linear significativa entre a força alometricamente corrigida e a MC (quadro 14). Poderia ainda ser aventada a possibilidade de uma relação não-linear entre essas variáveis, o que levantaria suspeita quanto à real qualidade dos ajustes. Todavia, essa hipótese pode ser descartada, tendo em vista que se tal relação existisse, ela já seria identificada na inspeção visual dos gráficos residuais (BATTERHAM e GEORGE, 1997).

HOMENS					
Exercício	Normalidade dos resíduos (p)	Homoscedasticidade		"r" Pearson (1RMcorr/MC)	Julgamento do Modelo
		Correlação (p)	Insp. Visual		
Supino Reto	0,845 (p=0,037)	0,132 (p=0,698)	Aleatória	0,071 (p=0,835)	Adequação parcial
Leg Press 45°	0,866 (p=0,111)	0,040 (p=0,907)	Aleatória	0,01 (p=0,980)	Adequado
Rosca Direta	0,894 (p=0,158)	-0,001 (p=0,998)	Aleatória	0,062 (p=0,857)	Adequado
MULHERES					
Supino Reto	0,971 (p=0,892)	0,002 (p=0,996)	Aleatória	0,04 (p=0,907)	Adequado
Leg Press 45°	0,932 (p=0,435)	0,013 (p=0,970)	Aleatória	0,02 (p=0,953)	Adequado
Rosca Direta	0,914 (p=0,27)	0,017 (p=0,959)	Aleatória	-0,024 (p=0,944)	Adequado

Quadro 13. Julgamento das regressões específicas

Exercício	Normalidade dos resíduos (p)	Homoscedasticidade		"r" Pearson (1RMcorr/MC)	Julgamento do Modelo
		Correlação (p)	Insp. Visual		
Supino Reto	0,930 (p=0,124)	0,001 (p=0,997)	Aleatória	0,031 (p=0,89)	Adequado
Leg Press 45°	0,923 (p=0,115)	0,008 (p=0,972)	Aleatória	-0,022 (p=0,927)	Adequado
Rosca Direta	0,940 (p=0,194)	-0,006 (p=0,979)	Aleatória	0,051 (p=0,822)	Adequado

Quadro 14. Julgamento das regressões ajustadas pelo gênero

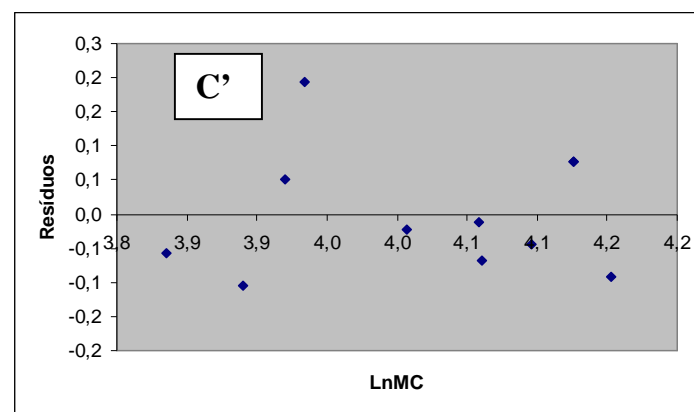
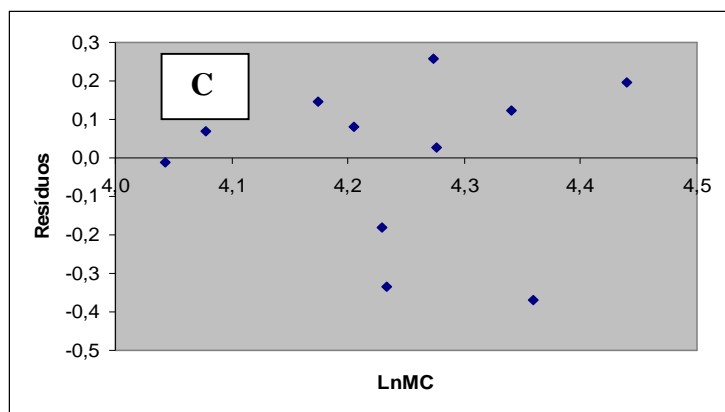
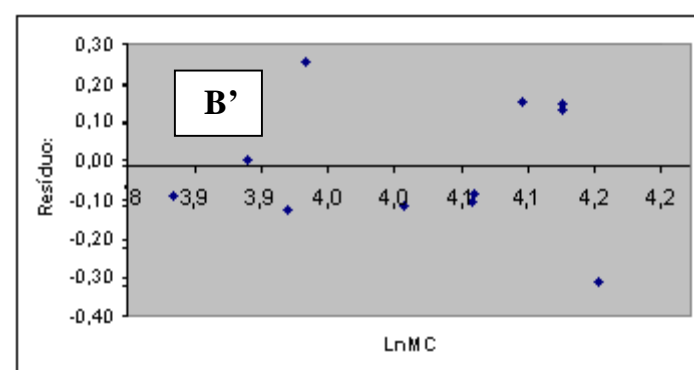
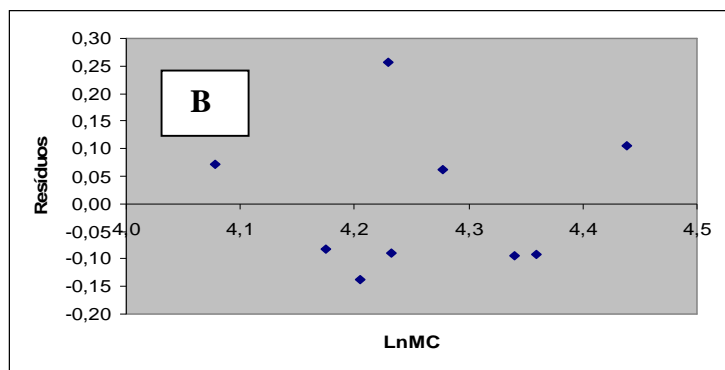
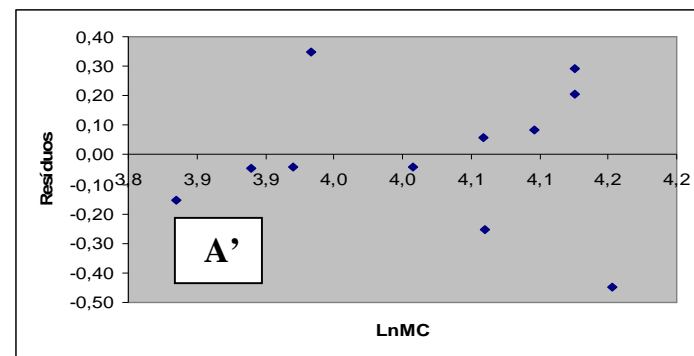
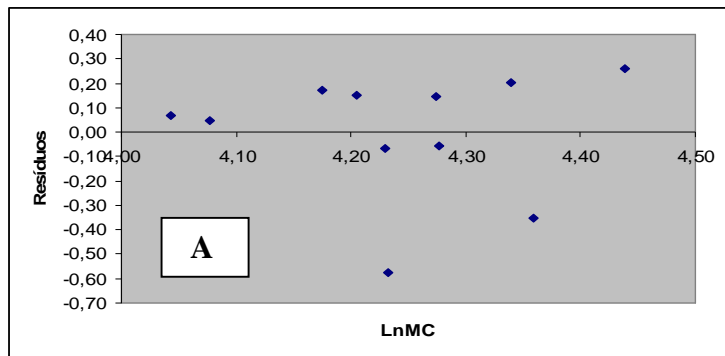


Figura 2. Gráficos de resíduos (A e A'=supino masculino/feminino; B e B'= Leg Press masculino/feminino; C e C'= Rosca Direta masculino/feminino)

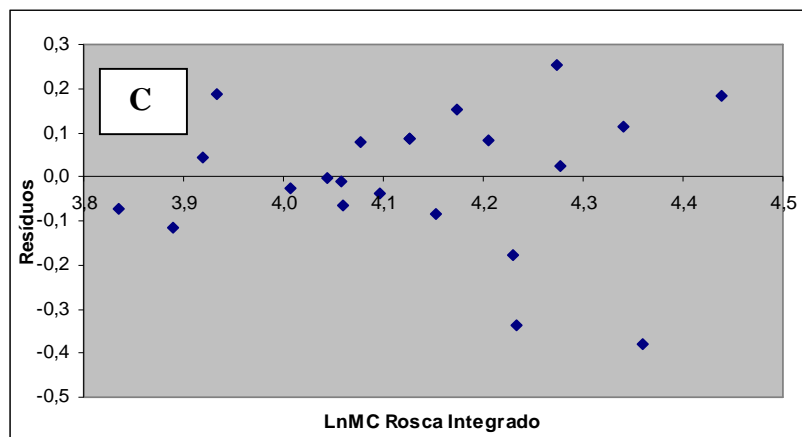
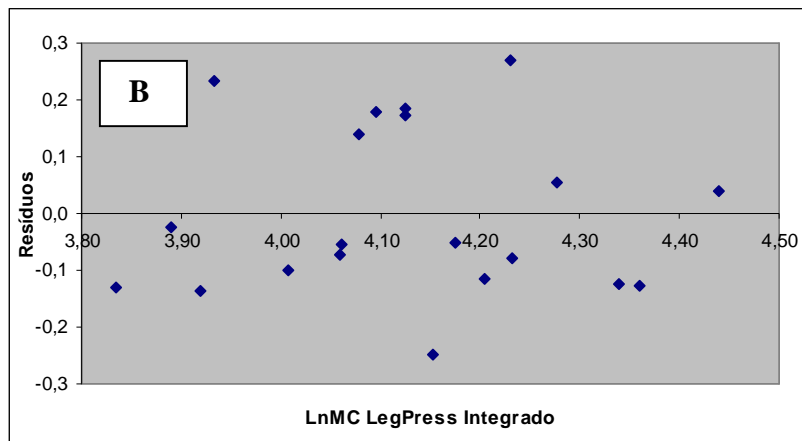
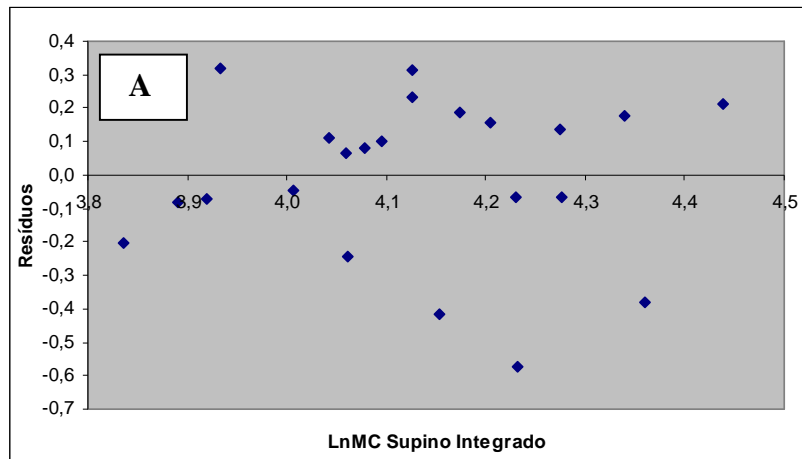


Figura 3. Gráficos de resíduos das regressões ajustadas pelo sexo (integrado) nos três ER (A=Supino / B=Lep Press / C=Rosca Direta)

Assim sendo, todos os ajustes alométricos foram considerados adequados, por atenderem satisfatoriamente aos critérios preestabelecidos. A única adequação apenas parcial diz respeito ao ER Supino masculino, cuja parcialidade é devida à falta de normalidade observada na

distribuição dos resíduos. Nesse ponto, o presente estudo difere do que foi adotado por Zoeller *et al.* (2008), que estudando o efeito do IMC em modelagem alométrica da força isométrica dos flexores do cotovelo, mesmo tendo observado capacidade do ajuste em isolar o efeito da MC, julgou-o como inadequado pela falta de normalidade da distribuição dos resíduos.

Em discordância dos resultados do presente estudo, Batterham e George (1997), já citados anteriormente, identificaram a falta de habilidade de um modelo alométrico ajustado pelo sexo em isolar o efeito da MC, em *powerlifters*. Apesar de terem confirmado a normalidade dos resíduos, a falta de correlação linear entre resíduos e LnMC, bem como a falta de correlação linear entre a força corrigida e a MC (independência linear do modelo), os autores identificaram um comportamento sistemático no gráfico de resíduos e que se mantinha no gráfico entre força corrigida e MC, onde aparecia uma tendência que se aproximava daquela definida por uma equação polinomial de segunda ordem ( $y = ax^2 + bx + c$ ). O mesmo comportamento residual foi observado por Cleather (2006), de maneira que a concentração de resíduos positivos na faixa intermediária da variável independente proporcionava penalização aos atletas de *powerlifting* mais leves e aos mais pesados. Croucher (1984), estudando modelagem alométrica do desempenho de campeões de *weightlifting*, também identificou uma penalização dos atletas mais leves e mais pesados e uma conseqüente vantagem para os atletas das classes intermediárias de MC. Esse comportamento residual, que se assemelha a uma parábola invertida e que penaliza as categorias mais baixas e mais altas de MC, parece realmente afetar tanto o universo do *weightlifting* quanto do *powerlifting*, de acordo com os achados de Markovic e Sekulic (2006), que por isso também julgaram inadequado o uso de alometria para corrigir o desempenho (força) pela MC em ambas as modalidades.

Vanderburgh e Dooman (2000) foram mais flexíveis em suas interpretações em relação a esse fenômeno, também observado por eles em mulheres *powerlifters*. Eles apontaram que,

comparada ao ajuste fornecido por um polinômio de segunda ordem, apesar de a modelagem alométrica apresentar menor aptidão em termos estatísticos, ela pode ser utilizada se o critério adotado for a maior solidez teórica. Também os mesmos autores, ao analisarem homens *powerlifters* em um outro estudo (VANDERBURGH e DOOMAN, 2000), apontaram que a modelagem alométrica pode ser viável, uma vez que não observaram sistematização residual nos exercícios Supino e Agachamento. Apenas no exercício de Levantamento Terra os autores consideraram seu uso inadequado, também por observarem penalização dos atletas mais leves e mais pesados. Também Zoeller *et al.* (2008), citados anteriormente, apesar de julgarem inadequada sua modelagem alométrica de força isométrica utilizando a MC, não observaram qualquer indício de sistematização linear ou não linear em seus gráficos.

Segundo Ford *et al.* (2000), o comportamento residual observado nos estudos com *weightlifters* e *powerlifters* pode ser explicado pelo fato de que a quantidade de tecido não-contrátil aumenta abruptamente em levantadores de peso das categorias mais pesadas. Isso é corroborado pelos dados de Mochernyuk e Draga (2001), que apontam que pode ser esperado um aumento no IMC dos competidores de uma categoria para outra, da mais leve para a mais pesada. Assim sendo, se os atletas mais pesados são mais adiposos e apresentam maiores valores de IMC, e se a gordura e o IMC interferem negativamente na relação da MC com a força muscular (FOLLAND, McCAULEY e WILLIAMS, 2008; ZOELLER *et al.*, 2008), é provável que expoentes alométricos maiores que os esperados para eles gerem algum tipo de depreciação em sua força corrigida.

A penalização dos atletas mais pesados pode ter ainda uma outra interpretação. Pelo fato de levantarem uma quantidade de peso maior em valores absolutos do que as outras categorias, eles podem apresentar uma relação entre MC e desempenho diferente das classes mais leves. Isso pode ser fortalecido pela idéia de que a quantidade de potência máxima que um ser humano pode

gerar parece ser limitada a uma quantidade fixa de Watts por unidade de MC (GOMES, 2005) e, dessa forma, quanto mais perto estiverem os indivíduos desse limite, menor será a dependência de sua força em relação à MC, sendo esperado para eles, portanto, um menor expoente alométrico.

No que diz respeito ao possível efeito penalizador de atletas mais leves, gerado por ajustes alométricos do desempenho de *weightlifters* e *powerlifters*, é possível que esteja relacionado à estatura dos mesmos, já que geralmente atletas mais leves são também mais baixos (Mochernyuk e Draga (2001). Se eles são mais baixos, conseqüentemente o trabalho mecânico produzido por eles pode ser menor, devido ao menor deslocamento necessário da barra de pesos. Assim, é possível que expoentes alométricos mais altos superestimem a influência da MC, já que uma boa parte do desempenho pode estar relacionado à vantagem fornecida por uma estatura reduzida (FORD *et al.*, 2000).

A comparação realizada entre modelagem alométrica e polinomial, feita pela maioria dos autores que avaliaram *powerlifters* ou *weightlifters*, é fortemente desaconselhada por Nevill, Bate e Holder (2005). Os autores fazem uma crítica a esse tipo de comparação, uma vez que é muito provável que modelos com 3 ou mais parâmetros (por exemplo funções polinomiais) apresentem melhor aptidão do que modelos com apenas 2 parâmetros (alometria padrão) para explicar relações não-lineares. Os autores sugerem que comparações de modelos com diferentes números de parâmetros deveriam ser feitas apenas quando utilizados os critérios de penalização para superparametrização, definidos por Akaike (1974) e Kass and Raftery (1995). Todavia, essa questão não será aqui aprofundada, uma vez que não é o objetivo do presente trabalho a comparação entre diferentes modelos de normalização.

Com relação aos dados do presente estudo, diferentemente do que tem sido observado em atletas levantadores de peso, o comportamento residual gerado pelas regressões log-lineares não

pode ser definido por uma função quadrática. Conforme já mencionado, isso pode estar relacionado ao tamanho da amostra. Por outro lado, também pode estar relacionado às características de MC da amostra, que não permitem o estabelecimento de categorias muito distintas, como acontece no universo do levantamento de peso profissional. Todavia, é possível ainda assumir, que no presente estudo não foi observado um comportamento residual sistematizado, pelo fato de a alometria apresentar resultados diferentes quando aplicada em atletas e não-atletas, sendo aparentemente mais adequada para isolar o efeito da MC nesse último caso.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ajustes alométricos realizados no presente estudo geraram expoentes que foram menores para homens do que para mulheres, o que é biologicamente menos esperado, tendo em vista a maior parcela de gordura corporal do sexo feminino. Outra questão menos passível de explicação biológica foi observada no expoente derivado do exercício *Leg Press* feminino, cujo valor foi maior que a unidade. Já que uma das críticas ao uso da taxa padrão (força/MC<sup>1</sup>) diz respeito ao fato de ela assumir que toda a variação na força muscular é devida única e exclusivamente à variação na MC, os dados do presente estudo sugerem que o uso de expoentes iguais ou maiores do que 1 (um) deve ser cuidadosamente avaliado, ainda que as regressões log-lineares apresentem boa qualidade de ajuste.

Além disso, os expoentes aqui apresentados são em geral maiores do que aqueles encontrados na literatura, o que pode estar relacionado ao fato de a maioria das pesquisas aqui referenciadas ter utilizado o resultado de atletas em competições como variável dependente. Nessas situações o nível técnico e a motivação estão mais presentes na realização dos exercícios, sendo esperada portanto, uma menor dependência do desempenho em relação à MC, e conseqüentemente menores expoentes alométricos.

No que diz respeito à diferença entre os ranqueamentos proporcionados pelos expoentes específicos, pelo teórico (0,67) e pela taxa padrão (expoente 1), foi observado que na maioria das situações houve alterações não correspondentes nos postos. Ou seja, as três técnicas de normalização quase sempre discriminavam de maneira diferente os indivíduos em relação à força de 1RM. Os resultados sugerem que parece existir uma faixa de valores em que as diferenças nos expoentes não refletem ranqueamentos diferentes (abaixo de 0,7 pontos) e uma faixa em que os ranqueamentos podem ser essencialmente diferentes (acima de 0,14 pontos). Isso pode ser

importante, especialmente para julgar a semelhança de expoentes a partir dos valores contidos em um intervalo de confiança pré-estabelecido.

No presente estudo os homens se apresentaram mais fortes que as mulheres em todos os exercícios resistidos, mesmo quando a força era corrigida alometricamente. Entretanto, com o uso da alometria, a diferença da força entre homens e mulheres ficou reduzida, apresentando valores fisiologicamente mais aceitáveis. Isso ficou ainda mais evidente no exercício *Leg Press*.

Os problemas de distribuição residual apontados em modelagem alométrica do desempenho de atletas de levantamento de peso não foram observados no presente estudo. Isso indica que a alometria pode ser uma ferramenta adequada para isolar o efeito da MC no ajuste da força muscular de não-atletas, ao menos para a amostra em questão, principalmente quando comparada com o ajuste fornecido pela taxa padrão (força/MC<sup>1</sup>).

Além disso, se essa adequação for confirmada em futuros estudos, talvez a alometria possa vir a ser utilizada para construção, em longo prazo, de valores normativos de força muscular corrigida pela MC ou outra variável mais biologicamente correlata, por exemplo, a massa muscular. Isso é especialmente verdadeiro se esses valores normativos forem relacionados à prescrição de ER voltada à saúde, onde a precisão do ranqueamento dos indivíduos importa menos do que a construção de valores referenciais, ainda que levemente imprecisos. Neste sentido, expoentes alométricos poderiam ser derivados para populações específicas, levando em conta tempo de treinamento, adiposidade e até mesmo margem de segurança em relação a cargas extremas. Assim seria possível estabelecer índices de força corrigida que pudessem ser regionalmente e até universalmente aceitos, o que permitiria um dimensionamento de cargas individualizado.

Adicionalmente, a praticidade da alometria e seu modelo biologicamente melhor interpretável (intercepto zero), fazem com que sua utilização seja atrativa e cada vez mais

disseminada. Todavia, atenção especial deve ser dada à qualidade do ajuste fornecido, principalmente no que diz respeito à distribuição residual e à independência entre a força corrigida pelo modelo e a massa corporal. Uma eventual popularização da alometria, devido a sua versatilidade e aparente adequação em não-atletas, não invalida a busca de outros modelos não-lineares, inclusive com a interação de outras variáveis, para melhor tentar explicar o fenômeno de manifestação da força muscular.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACSM. Position Stand: Progression models in resistance training for healthy adults. **Med. Sci. Sports Exerc**, v.41, no.3, p.687-708, 2009. Disponível em: [www.msse.com/pt/re/msse/positionstandards.htm](http://www.msse.com/pt/re/msse/positionstandards.htm). Acesso em: 20 abr. 2009.

ACSM. Position Stand: The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. **Med. Sci. Sports Exerc**, v.30, n.6, p.975-91, 1998. Disponível em: <http://www.acsm-msse.org/pt/pt-core/template-journal/msse/media/0698a.htm>. Acesso em: 20 fev. 2009.

AQUINO, CFV et al. A Utilização da Dinamometria Isocinética nas Ciências do Esporte e Reabilitação. **R. bras. Ci e Mov**, v. 15, n. 1, p. 93-100, 2007.

ATKINS, SJ. Normalizing expressions of strength in elite rugby league players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.18, n.1, p. 53-58, 2004.

BAKER et al. Power Output of Legs During High Intensity Cycle Ergometry: Influence of Hand Grip. **J. Sci. Med. Sport**, v.4, n.1, p. 10-18, 2001.

BATTERHAM, AM et al. Modeling the influence of body size on VO<sub>2</sub>peak: effects of model choice and body composition. **J. Appl. Physiol**, v. 87, n. 4, p. 1317-1325, 1999.

BJÖRNTORP, P. Body fat distribution, insulin resistance, and metabolic diseases. **Nutrition**, v. 13, p. 795-803, 1997.

BIRD, S; TARPENNING, KM; MARINO, FE. Designing Resistance Training Programmes to Enhance Muscular Fitness: A Review of the Acute Programme Variables. **Sports Med**, v. 35, n. 10, p. 841-851, 2005.

BORGES JUNIOR, NG et al. Estudo comparativo da força de preensão isométrica máxima em diferentes modalidades esportivas. **Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum**, v. 11, n. 3, p. 292-298, 2009.

BOSCO, C et al. Monitoring strength training: neuromuscular and hormonal profile. **Med. Sci. Sports Exerc**, v. 32, n. 1, p. 202–208, 2000.

BRECHUE, WF; ABE, T. The role of FFM accumulation and skeletal muscle architecture in powerlifting performance. **Eur J Appl Physiol**, v. 86, p. 327–336, 2002.

CHALLIS, JH. Examination of the scaling of human jumping. **J Strength Cond. Res**, v. 8, n. 4, p. 803-809, 2004.

CHALLIS, JH. Methodological report: the appropriate scaling of weightlifting performance. **J Strength Cond. Res**, v.13, n.4, p.367-371, 1999.

CLEATHER, DJ. Adjusting powerlifting performances for differences in body mass. **J Strength Cond. Res**, v.20, n.2, p.412-421, 2006.

CRONIN, JB; HANSEN, KT. Strength and power predictors of sports speed. **J. Strength Cond. Res**, v.19, n. 2, p. 349–357, 2005.

CROUCHER, JS. An analysis of world weightlifting records. **Res Q Exerc Sport**, v. 55, p. 285-288, 1984.

DAVIES, MJ; DALSKY, G P Normalizing strength for body size differences in older adults. **Med. Sci. Sports Exerc**, v. 29, n.5, p. 713-17, 1997.

DELBAERE, K et al. Age-related changes in concentric and eccentric muscle strength in the lower and upper extremity: A cross-sectional study. **Isokinetics and Exercise Science**, v. 11, n. 3, p.145-151, 2003.

DIAS, RMR et al. Influência do processo de familiarização para avaliação da força muscular em testes de 1-RM. **Rev Bras Med Esporte**, v.11, n. 1, p. 34-38, Jan/Fev, 2005.

DOMINGOS-BENICIO, NC et al. Medidas espirométricas em pessoas eutróficas e obesas nas posições ortostática, sentada e deitada. **Rev. Assoc. Med. Bras. [online]**, v. 50, n. 2, p. 142-147, 2004.

DOOMAN, CS; VANDERBURGH, PM. Allometric modelling of the bench press and squat: who is the strongest regardless of body mass? **J Strength Cond Res**, v. 14n n. 1, p. 32-36, 2000.

DOSS, WS; KARPOVICH, PV. A comparison of concentric, eccentric, and isometric strength of elbow flexors. **J Appl Physiol**, v. 20, p. 351-353, 1965.

EBBEN, WP; JENSEN, RL. Strength Training for Women: Debunking Myths That Block Opportunity. **The Physician and Sportsmedicine**, v. 26, n. 5, 1998.

FERRUCCI, L et al. Departures from linearity in the relationship between measures of muscular strength and physical performance of the lower extremities: the women's health and aging study. **J Gerontol A Biol Sci Med Sci**, v. 52A, n. 5, p. 275-285, 1997. Disponível em: <http://biomedgerontology.oxfordjournals.org/cgi/reprint/52A/5/M275.pdf> . Acesso em 11 nov 2009.

FLECK, S.J.; KRAEMER, W.J. **Fundamentos do Treinamento de Força Muscular**. 2. ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 1999.

FLEGAL, KM et al. Comparisons of percentage body fat, body mass index, waist circumference, and waist-stature ratio in adults. **Am J Clin Nutr**, v. 89, n. 2, p. 500-508, 2009.

FOLLAND, JP; MC CAULEY, TM; WILLIAMS, AG. Allometric scaling of strength measurements to body size. **Eur J Appl Physiol**, v.102, n.6, p.739–745, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-007-0654-x>. Acesso em: 20 abr. 2009.

FONTOURA, AS; SCHNEIDER, P; MEYER, F. O efeito do destreino de força muscular em meninos pré-púberes. **Rev Bras Med Esporte**, v.10, n.4, p.281-284, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbme/v10n4/22044.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2009.

FORD, LE et al. Gender- and height-related limits of muscle strength in world weightlifting champions. **J Appl Physiol**, v. 89, p. 1061–1064, 2000.

FRANÇA, NM; BEDU, M; PRAAGH, EV. Performance anaeróbica em escolares de ambos os sexos no período peripubertário. **Rev. bras. ativ. fís. Saúde**, v. 3, n. 1, , p 5-13, 1998.

GARCÍA-MANSO, JM; MARTÍN-GONZÁLEZ, JM. Leis de potência ou escala: sua aplicação ao fenômeno esportivo. **Fit Perf J**, v.7, n.3, p.195-202, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3900/fpj.7.3.195.p>. Acesso em: 21 abr. 2009.

GERALDES, AAR. et al. A Força de Preensão Manual é Boa Preditora do Desempenho Funcional de Idosos Frágeis: um Estudo Correlacional Múltiplo. **Rev Bras Med Esporte**, v.14, n 1, p.12-16, Jan/Fev, 2008. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/rbme/v14n1/a02v14n1.pdf> . Acesso em 11 nov 2009.

GIL, AC. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

GOMES, MAF. Física e esporte. **Cienc Cult**, v. 57, n. 3, 2005. Disponível em: [www.cce.ufes.br/jair/ieff/CiênciaCultura\\_v57p36\\_Física\\_Esporte.pdf](http://www.cce.ufes.br/jair/ieff/CiênciaCultura_v57p36_Física_Esporte.pdf). Acesso em: 20 abr. 2009.

HIROSHI N; HITOSHI M. Invention and making of “power measure”, a simple instrument to measure muscular strength – validation of the measure values. **J Phys Ther Sci**, v.19, p. 9-13, 2007. Disponível em: [http://www.jstage.jst.go.jp/article/jpts/19/1/9/\\_pdf](http://www.jstage.jst.go.jp/article/jpts/19/1/9/_pdf) Acesso em 11 nov 2009.

HOPPELER, H, WEIBEL, ER. Scaling functions to body size: theories and facts. **The J Exp Biol**, v. 208, p. 1573-1574, 2005.

IKAI, M; FUKUNAGA, T. Calculation of muscle strength per unit cross sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. **Int Z Angew Physiol**, v. 26, p. 26-32, 1968.

JARIC, S. Muscle strength testing: Use of normalization for body size. **Sports Med**, v.32, n.10, p.615-631, 2002.

JARIC, S; MIRKOV, D; MARKOVIC, G. Normalizing physical performance tests for body size: a proposal for standardization. **J. Strength Cond. Res**, v.19, n.2, p.467-474, 2005.

KERKHOFF, AJ; ENQUIST, BJ. Multiplicative by nature: why logarithmic transformation is necessary in allometry. **J. Theor. Biol**, v.257, n. 3, p.519-21, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtbi.2008.12.026>. Acesso em 11 nov 2009.

KLEIBER, M. Body size and metabolism. **Hilgardia**, v.6, p. 315-53, 1932.

- KÖCHE, JC. **Pesquisa científica**: critérios epistemológicos. Petrópolis: Vozes, 2005. 254 p.
- KÜLKAMP, W; Dias, JA; Wentz, MD. Percentuais de 1RM e alometria na prescrição de exercícios resistidos. **Motriz**, Rio Claro, v.15, n.4, p. 976-986, out./dez. 2009.
- LIETZKE, MH. Relation between weight-lifting totals and body weight. **Science**, v. 124, p. 486-487, 1956.
- MARKOVIC, G; JARIC, S. Movement performance and body size: the relationship for different groups of tests. **Eur J Appl Physiol**, v.9, p.139–149, 2004.
- MARKOVIC, G; JARIC, S. Scaling of muscle power to body size: the effect of stretchshortening cycle. **Eur J Appl Physiol**, v.95, n. 1, p.11–19, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-005-1385-5>. Acesso em: 20 abr. 2009.
- MARKOVIC G, SEKULIC D. Modeling the influence of body size on weightlifting and powerlifting performance. **Collegium Antropologicum**, v. 30, n. 3, p. 607-613, 2006.
- MAUGHAN, RJ; WATSON, JS; WEIR, J. Muscle strength and cross-sectional area in man: a comparison of strength-trained and untrained subjects. **Brit J Sports Med**, v. 18, n. 3, p. 149-157, 1984.
- MCMAHON, T. Size and Shape in Biology: Elastic criteria impose limits on biological proportions, and consequently on metabolic rates. **Science**, v.179, n.4079, p.1201-4, 1973. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1126/science.179.4079.1201>. Acesso em: 20 abr. 2009.
- MOCHERNYUK, V; DRAGA, V. Determining the Dependence between Weightlifting Results in Different Weight Classes. **The Russian Weightlifting Library. News & Views**. Submetido para publicação em 11/07/2001. Disponível em: <http://www.dynamic-eleiko.com/sportivny/library/news/nv001.html>. Acesso em 20/09/09.
- NEVILL, AM; BATE, S; HOLDER, RL. Modeling Physiological and Anthropometric Variables Known to Vary With Body Size and Other Confounding Variables. **Yearbook of Physical Anthropology**, v. 48, p. 141–153, 2005.
- NEVILL, AM.; RAMSBOTTOM, R; WILLIAMS, C. Scaling physiological measurements for individuals of different body size. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v.65, n.2, p.110-117, 1992. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/BF00705066>. Acesso em: 20 abr. 2009.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS) Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation on obesity. Geneva, 1997.
- PACKARD, GC. On the use of logarithmic transformations in allometric analyses. **Journal of Theoretical Biology**, v. 257, n. 3, p. 515-518, 2009.
- PEREIRA, MIR; GOMES, PSC. Testes de força e resistência muscular: confiabilidade e predição de uma repetição máxima – Revisão e novas evidências. **Rev Bras Med Esporte**, v.9, no.5,

p.325-335, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbme/v9n5/v9n5a12.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2009.

PETROSKI, EL. **Antropometria: técnicas e padronizações**. Porto Alegre: Palloti, 1999. 144 p.

PUA, Y. Allometric Analysis of Physical Performance Measures in Older Adults. **Phys Ther Journal**, v. 86, n. 9, p. 1263-1270, set. 2006.

REYNOLDS, JM; TORYANNO, JG; ROBERGS, RA. Prediction of 1 repetition maximum strength from multiple repetition maximum testing and anthropometry. **J. Strength Cond. Res**, v. 20, n.3, 584-592, 2006.

SANTOS, DMS; SICHIERI, R. Índice de massa corporal e indicadores antropométricos de adiposidade em idosos. **Rev Saúde Pública**, v. 39, n. 2, p. 163-168, 2005.

SCHNEIDER, P; BENETTI, G; MEYER, F. Muscular strength of 9-18-year old volleyball athletes through computational dynamometry. **Rev Bras Med Esporte**, v. 10, n. 2. p. Mar/Abr, 2004.

SHIMANO, T et al. Relationship between the number of repetitions and selected percentages of one repetition maximum in free weight exercises in trained and untrained men. **J. Strength Cond. Res**, v.20, n.4, p.819-823, 2006.

SILVA, EL; MENEZES, EM. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3. ed., rev. atual. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001. 121p.  
Silva-Junior, AM et al. Verificação das possíveis diferenças entre diferentes dias do teste de 1RM. **Fit Perf J**, v. 6, n. 4, p. 232-236, 2007.

SIMÃO, R; MONTEIRO, WD; ARAÚJO, CGS. Potência muscular máxima na flexão do cotovelo uni e bilateral. **Rev Bras Med Esporte**, v. 7, n. 5, p. 157-162, Set/Out, 2001.

SMIL, V. Laying down the law. **Nature**, v.403, p.597, 2000. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/35001159>. Acesso em: 20 abr. 2009.

STONE, MH et al. Relationship of Maximum Strength to Weightlifting Performance. **Med. Sci. Sports Exerc**, v.37, n.6, p.1037-43, 2005.

TANNER JM. Fallacy of per-weight and per-surface area standards and their relation to spurious correlation. **J. Appl. Physiol**, v. 2, p. 1-15, 1949.

TARTARUGA, MP et al. Relação entre consumo máximo e submáximo de oxigênio em corredores e remadores de rendimento. **Revista de Educação Física**, n. 141, p. 22-33 – Jun, 2008.

TERRERI, ASP.; GREVE, JMD; AMATUZZI, MM. Avaliação isocinética no joelho do atleta. **Rev Bras Med Esporte**, v. 7, n. 5, p.170-174, Set/Out, 2001.



THÉ, DJ; PLOUTZ-SNYDER, L. Age, Body Mass, and Gender as Predictors of Masters Olympic Weightlifting Performance. **Med Sci Sports Exerc**, v. 35, n. 7, p. 1216-1224, 2003.

THOMAS, JR; NELSON, JK. **Métodos de pesquisa em atividade física**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2002. 419 p.

TILLAAR, R van den; ETTEMA, G. Effect of body size and gender in overarm throwing performance. **Eur J Appl Physiol**, v. 91, p. 413-418, 2004.

TOUS, J. **Nuevas tendencias en fuerza y musculación**. Barcelona: Ergo, 1999  
Vanderburgh PM, Mahar MT, Chou CH. Allometric scaling of grip strength by body mass in college-age men and women. **Res Q Exerc Sport**, v. 66, n. 1, p. 80-84, 1995.

VANDERBURGH, P.M. A simple index to adjust maximal strength measures by body mass. **JEPonline**, v.2, n.4, p.7-12, 1999.

VANDERBURGH, PM; BATTERHAM. AM. Validation of the Wilks powerlifting formula. **Med Sci Sports Exerc**, v. 31, p.1869-1875, 1999.

VANDERBURGH, PM.; DOOMAN, C. Considering body mass differences, who are the world's strongest women? **Med. Sci. Sports Exerc**, v.32, n.1, p.197-201, 2000.

VANDERBURGH, PM; MAHAR, M; CHOU, C. Allometric scaling of grip strength by body mass in college-age men and women. **Res. Q. Exerc. Sport**, v. 66, p. 80-84, 1995.

VANDERBURGH, PM; SHARP, M; NINDL, B. Nonparallel slopes using analysis of covariance for body size adjustment may reflect inappropriate modeling. **Meas Phys Ed Exerc Sci**, v. 2, p. 127-135, 1998.

VAN DER KOOY, K; SEIDELL, JC. Techniques for the measurement of visceral fat: a practical guide. **Int J Obes**, v.17, p. 187-196, 1993.

VIANNA, LC; OLIVEIRA, RB; ARAÚJO, CGS. Age-Related Decline in Handgrip Strength Differs According to Gender. **J. Strength Cond. Res**, v. 21, n. 4, p. 1310-1314, 2007.

WEIR, JP et al. Allometric scaling of isokinetic peak torque: the Nebraska Wrestling Study. **Eur J Appl Physiol**, v. 80, p. 240-248, 1999.

WEST, GB; BROWN, JH; ENQUIST, BJ. General model for the origin of allometric scaling laws in biology. **Science**, v. 276, 1997. Disponível em:  
<http://dx.doi.org/10.1126/science.276.5309.122>. Acesso em: 20 abr. 2009.

WINTER, EM; NEVILL AM. Scaling: Adjusting for differences in body size. In:  
**Kinanthropometry and Exercise Physiology Laboratory Manual: Tests, Procedures and Data**. ESTON, R; REILLY T. ed. 3, v. 1, New York: Routledge, 2009. p. 275-293.

ZATSIORSKY, VM; KRAEMER, WJ. **Science and practice of strength training**. ed. 2, Champaign, IL : Human Kinetics, 2006.

ZOELLER, RF et al. Allometric Scaling of Biceps Strength before and after Resistance Training in Men. **Med Sci Sports Exerc**, v. 39, n. 6, p. 1013-1019, 2007.

ZOELLER, RF et al. Allometric scaling of isometric biceps strength in adult females and the effect of body mass index. *Eur J Appl Physiol*, v. 104, p. 701–710, 2008.