

## Métodos para Identificar o Limiar Anaeróbio em Indivíduos com Diabetes Tipo 2 e em Indivíduos Não-diabéticos

*Methods to Identify the Anaerobic Threshold for Type-2 Diabetic and Non-Diabetic Subjects*

Herbert G. Simões<sup>1</sup>, Sérgio R. Moreira<sup>1</sup>, Robert J. Moffatt<sup>2</sup>, Carmen S. G. Campbell<sup>1</sup>

Universidade Católica de Brasília (UCB)<sup>1</sup>, Brasília DF – Brasil; Florida State University (FSU)<sup>2</sup>, Tallahassee FL – EUA

### Resumo

**Fundamento:** Apesar de o limiar anaeróbio (LAN) ser utilizado na avaliação funcional de diferentes populações, estudos comparando métodos para sua identificação em diabéticos tipo-2 tem sido pouco realizados.

**Objetivo:** Comparar protocolos de identificação do LAN em indivíduos diabéticos tipo 2 e em não-diabéticos, e analisar respostas relacionadas ao equilíbrio ácido-básico em intensidades relativas ao LAN.

**Métodos:** Diabéticos tipo 2 (n=10; 54,5±9,5 anos; 30,1±5,0 kg/m<sup>2</sup>) e jovens não-diabéticos (n=10; 36,6±12,8 anos; 23,9±5,0 kg/m<sup>2</sup>) realizaram teste incremental (TI) em ciclo ergômetro. O aumento desproporcional no equivalente ventilatório de oxigênio (VE/VO<sub>2</sub>) e lactatemia ([lac]) identificaram intensidades (Watts-W) correspondentes aos limiares ventilatório (LV) e de lactato (LL), respectivamente. A intensidade correspondente à menor glicemia ([gluc]) foi considerada limiar glicêmico individual (LGI). O LAN também foi determinado por ajuste polinomial das razões VE/Watts (LV<sub>VE/W</sub>) e [lac]/Watts (LL<sub>[lac]/W</sub>), as quais identificaram intensidades acima das quais um aumento desproporcional na VE e [lac] ocorreram.

**Resultados:** Não foram observadas diferenças entre LL, LV, LG, LL<sub>[lac]/W</sub> e LV<sub>VE/W</sub> em diabéticos (85,0±32,1; 88,0±31,7; 86,0±33,8; 82,0±20,9 e 90,2±22,2W) e não-diabéticos (139,0±39,0; 133,0±42,7; 140,8±36,4; 122,7±44,3 e 133,0±39,1W). Contudo os valores de LAN diferiram significativamente entre grupos (p<0.001). A técnica de Bland-Altman confirmou concordância entre os protocolos. Reduções significativas no pH e pCO<sub>2</sub> em paralelo a um aumento na [lac], pO<sub>2</sub> e VE foram observadas em intensidades supra limiares.

**Conclusão:** Os protocolos apresentaram, para ambos os grupos estudados, concordância na identificação do LAN, que se mostrou como uma intensidade de exercício acima da qual ocorre perda de equilíbrio ácido-básico. (Arq Bras Cardiol 2010; 94(1) : 71-78)

**Palavras-chave:** Limiar anaeróbio, protocolos clínicos, glicemia, equilíbrio ácido básico.

### Abstract

**Background:** In spite of Anaerobic Threshold (AT) to be widely used on exercise evaluation for different populations, there are few studies comparing methods to identify AT for individuals with type-2 diabetes.

**Objective:** To compare methods of AT determination on type-2 diabetics (T2D) and non-diabetic (ND) subjects and verify the acid-base balance as related to AT intensity.

**Methods:** T2D (n=10; 54.5±9.5 yr; 30.1±5.0 kg/m<sup>2</sup>) and younger ND (n=10; 36.6±12.8 yr; 23.9±5.0 kg/m<sup>2</sup>) performed an incremental test (IT) on a cycle ergometer. The over-proportional increase in VE/VO<sub>2</sub> and blood lactate ([lac]) identified the ventilatory (VT) and lactate thresholds (LT) respectively. The workload corresponding to the lower blood glucose ([gluc]) during test identified the individual glucose threshold (IGT). The AT was also determined by polynomial adjustment of the VE/Workload and [lac]/Workload responses to identify exercise intensities above which an over-proportional increase in VE and [lac] did occur and were named VT<sub>VE/W</sub> and LT<sub>[lac]/W</sub>.

**Results:** The workload (Watts-W) corresponding to LT, VT, IGT, LT<sub>[lac]/W</sub> and VT<sub>VE/W</sub> of diabetics (85.0±32.1; 88.0±31.7; 86.0±33.8; 82.0±20.9 and 90.2±22.2W) and non-diabetics (139.0±39.0; 133.0±42.7; 140.8±36.4; 122.7±44.3 and 133.0±39.1W) differed between groups (p<0.001), but not within groups. Thus it was evidenced an agreement among the studied methods. The pH and pCO<sub>2</sub> were significantly decreased in parallel to the increase in [lac], pO<sub>2</sub> and VE at supra AT intensities.

**Conclusion:** The AT intensities, as determined by different methods both for diabetics and non-diabetic individuals, were in agreement to each other and identified exercise intensities above which the acid-basic balance is disrupted. (Arq Bras Cardiol 2010; 94(1) : 67-73)

**Key words:** Anaerobic threshold; clinical protocols; blood glucose; acid-basic equilibrium.

Full texts in English - <http://www.arquivosonline.com.br>

Correspondência: Herbert G. Simões •

Universidade Católica de Brasília – UCB - EPTC, QS07, LT1 s/n. Bloco G Sala 116 - 72030-170 Águas Claras, Brasília, DF - Brasil

E-mail: hgsimoes@gmail.com

Artigo recebido em 16/09/08; revisado recebido em 03/11/08; aceito em 03/11/08.

## Introdução

O limiar anaeróbio (LAn) reflete uma intensidade de exercício acima da qual um aumento desproporcional na glicemia, lactato sanguíneo ([lac]) e ventilação (VE) é observado em paralelo com a diminuição do pH<sup>1,2</sup>.

A determinação invasiva do LAn a partir das respostas de [lac] (limiar de lactato – LL) tem sido considerada o padrão-ouro para avaliar a capacidade aeróbia<sup>3-5</sup>, enquanto a identificação do LAn a partir das respostas de VE (limiar ventilatório – LV) apresenta vantagens devido à sua natureza não-invasiva e tem sido recomendada para prescrição de exercícios para populações especiais<sup>5-8</sup>, incluindo diabéticos<sup>7,9-14</sup>. Entretanto, a determinação do LV requer equipamentos caros e as medidas são muito dependentes dos métodos de calibração antes do teste. Além disso, geralmente dois ou mais especialistas em fisiologia do exercício experientes são frequentemente necessários para identificar a intensidade à qual o LAn ocorre<sup>15,16</sup>. Por outro lado, o modelo matemático das respostas da VE aos testes incrementais através de função polinomial aumentam a acurácia da identificação do LAn.

Adicionalmente, tem sido demonstrado que durante o teste incremental (TI), a glicemia ([glic]) apresenta diminuição até que o LAn seja atingido, e a intensidade de exercício acima da qual a [glic] começa a aumentar é definida como Limiar Glicêmico Individual (LGI)<sup>17</sup>. O LGI parece demarcar uma intensidade de exercício acima da qual a produção de glicose supera sua captação, e que não difere do LV e do LL identificados em indivíduos jovens saudáveis<sup>2</sup>. O diabetes tipo 2 tem sido associado ao acúmulo de gordura no músculo esquelético, o que inibe a sinalização da insulina e dessa forma diminui a translocação do GLUT-4, resultando em hiperglicemia<sup>18</sup>. Assim, um método mais prático de identificação do LAn (por exemplo LGI) e/ou um procedimento não-invasivo e menos dispendioso (por ex., LV identificado através da razão VE/carga de trabalho (VE/W)) seria útil para a prescrição de exercícios a fim de evitar o acúmulo de gordura no músculo esquelético e controlar a glicemia em indivíduos com diabetes tipo 2 e em indivíduos não-diabéticos.

Entretanto, a identificação do LAn a partir das respostas da glicemia, bem como a utilização de uma determinação não-invasiva e simples por meio da análise das respostas da razão VE/carga de trabalho, ainda não foram investigadas em portadores de diabetes tipo 2.

O presente estudo comparou as relações entre o LAn identificado através da [glic] e o LAn identificado por outros métodos (por ex., LL e LV) em indivíduos com diabetes tipo 2

e em indivíduos mais jovens não-diabéticos. Adicionalmente, a possibilidade de determinar o LV e o LL ao aplicar uma função polinomial de segundo grau nas respostas das razões VE/carga de trabalho e [lac]/carga de trabalho ([lac]/W) durante o teste incremental na bicicleta ergométrica foi analisada. Os resultados foram comparados à outros métodos de determinação do LAn, e respostas do pH, pressão parcial de oxigênio (pO<sub>2</sub>) e de dióxido de carbono (pCO<sub>2</sub>) em relação às intensidades de LAn identificadas foram analisadas para esclarecer o significado do LAn identificado através da [glic] e das razões (VE/W) e ([lac]/W).

## Métodos

### Indivíduos

O Comitê de Ética para Pesquisa em Seres Humanos da Universidade aprovou os métodos utilizados nesta investigação. Após assinarem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, 12 indivíduos sedentários com diabetes tipo 2 e 10 indivíduos não-diabéticos fisicamente ativos foram voluntários do presente estudo. Os dados de apenas 10 dos 12 indivíduos diabéticos são apresentados, pois em 2 deles não foi possível identificar todos os parâmetros de interesse. As características descritivas dos participantes estão apresentadas na Tabela 1. Os indivíduos não-diabéticos participavam de programas de treinamento de caráter recreacional há pelo menos dois anos (por ex., ciclismo e treinamento resistido), consistindo em pelo menos 20 minutos de exercícios 3 vezes por semana regularmente, enquanto os participantes diabéticos eram sedentários. Além disso, os diabéticos mantiveram o tratamento hipoglicemiante oral (por ex. sulfonilurêias, biguanidas, inibidores de alfa-glucosidase) durante o estudo.

### Procedimentos

A coleta de dados foi realizada no Laboratório de Fisiologia do Exercício da Universidade Católica de Brasília e na *Florida State University*. Os participantes foram previamente submetidos à um exame cardiovascular, incluindo um eletrocardiograma de repouso e medidas da pressão arterial (Microlife, Inglaterra). Os indivíduos com complicações cardiovasculares, neurológicas e ortopédicas foram excluídos da participação no estudo. Os indivíduos selecionados realizaram um teste incremental em bicicleta ergométrica eletromagnética (Lode Excalibur, Países Baixos) após uma noite em jejum entre 8:30 e 9:30 horas da manhã em uma sala a uma temperatura de 22-23° C, 665 mmHg de pressão barométrica e 50% de umidade.

Tabela 1 – Características dos participantes com diabetes tipo 2 e indivíduos não-diabéticos

|                       | Idade (anos)             | IMC (kg.m <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup> | Massa gorda (%)         | VO <sub>2</sub> máx. (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> ) | Glicemia de jejum (mM) | PAS (mmHg)                | PAD (mmHg)               |
|-----------------------|--------------------------|---|-------------------------|--|------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Diabéticos (n=10)     | 54,5 (9,5)               | 30,1 (5,0)                              | 27,4 (9,3)              | 23,3 (6,7)   | 10,4 (3,2)             | 135,2 (17,6)              | 84,3 (7,5)               |
| Não-diabéticos (n=10) | 36,6 <sup>†</sup> (12,8) | 23,9 <sup>†</sup> (1,7)                 | 17,1 <sup>†</sup> (5,2) | 42,4 <sup>‡</sup> (8,1)  | 4,6 <sup>†</sup> (0,6) | 117,9 <sup>†</sup> (11,3) | 73,8 <sup>†</sup> (11,1) |

PAS – pressão arterial sistólica no repouso; PAD – pressão arterial diastólica no repouso; <sup>†</sup> p<0,05; <sup>‡</sup> p<0,001 em relação à indivíduos com diabetes tipo 2.

### Teste Incremental (TI)

Um TI foi aplicado para identificar o LL, o LV, o LGI e o  $VO_{2max}$ . Para isso, antes do início do TI era realizado aquecimento de um minuto pedalando a 0 Watts (W) com carga entre 15 e 50 W, e incrementos de 15-25 W a cada 3-min, dependendo das características do participante (se diabético ou saudável, fisicamente ativo ou sedentário etc). Para a maioria dos participantes (incluindo todos os diabéticos) o teste foi iniciado com 15 W e incrementos de 15 W a cada estágio de 3 minutos. O teste foi interrompido devido à exaustão voluntária ou se qualquer anormalidade eletrocardiográfica fosse observada. Adicionalmente, os critérios para interrupção do teste incluíram um aumento exagerado na pressão arterial sistólica (PAS), pressão arterial diastólica (PAD) acima de 115 mmHg, além da incapacidade de aumentar o pulso de oxigênio em paralelo ao aumento na carga de trabalho e/ou uma razão de troca respiratória (RER) acima de 1,15<sup>7,19</sup>.

### Análise ventilatória

Gases expirados foram mensurados de forma contínua usando-se um sistema Parvomedics MMS-2400 (Florida State University) ou o sistema Cortex Metalyzer 3B (Universidade Católica de Brasília). A calibração dos equipamentos de análise gasosa era realizada antes de cada teste. Os resultados obtidos dos últimos 20 segundos de cada estágio foram considerados para a identificação da ventilação minuto (VE), consumo de oxigênio ( $VO_2$ ), produção de dióxido de carbono ( $VCO_2$ ), razão de troca respiratória (RER) e LV. O maior  $VO_2$  obtido na exaustão voluntária era considerado o  $VO_{2pico}$ .

### Coleta de sangue e análises laboratoriais

Durante os últimos 10 segundos de cada estágio, uma amostra de 25  $\mu$ l de sangue era coletada do lóbulo da orelha, usando microcapilares heparinizados e calibrados para mensurações de [lac] e [glic] de todos os participantes. Uma amostra de 75  $\mu$ l de sangue também foi coletada em 5 indivíduos não-diabéticos em repouso, no meio do teste incremental (geralmente no final dos estágios 3 a 5; por volta do LAn) e imediatamente na conclusão do teste.

Os 25  $\mu$ l foram transferidos para tubos de Eppendorf contendo 50  $\mu$ l de fluoreto de sódio (NaF) a 1%. O [lac] e a [glic] foram determinados em cada amostra em duplicata usando-se um analisador de lactato e glicose sanguíneos (Yellow Springs 2700S). Os resultados de [lac] e [glic] foram corrigidos pelo volume da amostra de sangue dentro do tubo de Eppendorf e são apresentados em mM. A  $pO_2$  e  $pCO_2$  (mmHg), o Excesso de Base - EB (mM) e o pH foram medidos na amostra de 75  $\mu$ l utilizando o sistema AVL (Blood Gas Analyser – OMNI 3 Modular Analyzer, AVL Scientific Corporation, Roswell, GA).

### Identificação do Limiar Anaeróbio

O LL foi considerado como o ponto de inflexão da curva de [lac], enquanto o LGI foi determinado pela cinética da [glic], sendo definido como a intensidade de exercício em que a [glic] começava a aumentar durante o TI<sup>17</sup>. O LV foi identificado por dois pesquisadores independentes, considerando-se um aumento na razão  $VE/VO_2$  sem um aumento paralelo na razão

$VE/VCO_2$ <sup>1,20</sup> (Figura 1), e na impossibilidade de se identificar o LV por esta técnica, o mesmo era identificado considerando-se o ponto de quebra na relação  $VCO_2-VO_2$ .

Além disso, a razão  $VE/W$  e [lac]/W foram plotadas versus a carga de trabalho para cada participante durante o TI. Sobre os resultados foi aplicada função polinomial de segundo grau e a equação originada foi derivada a fim de determinar uma intensidade de exercício acima da qual ocorria um aumento desproporcional da VE e do [lac] em relação à carga de trabalho. A identificação do LAn através dessas abordagens matemáticas foi chamada respectivamente de  $LV_{VE/W}$  e  $LL_{[lac]/W}$ . A identificação do  $LV_{VE/W}$  e  $LL_{[lac]/W}$  para um único participante diabético é mostrada na Figura 2 (A-B).

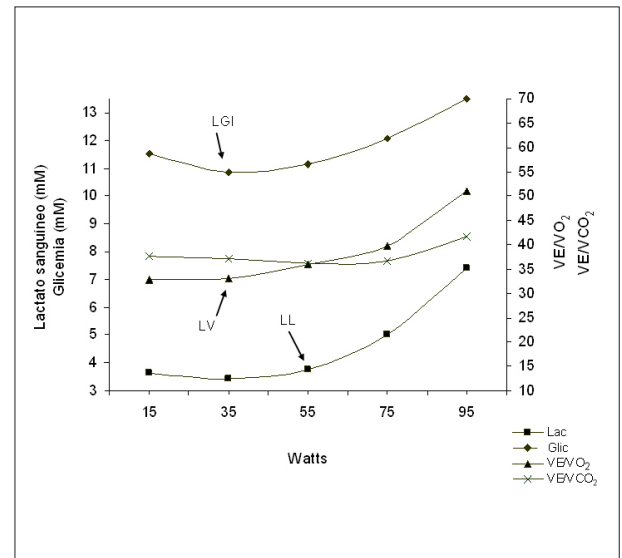


Fig. 1 - Determinação do LL, LV e LGI para um único indivíduo com diabetes tipo 2.

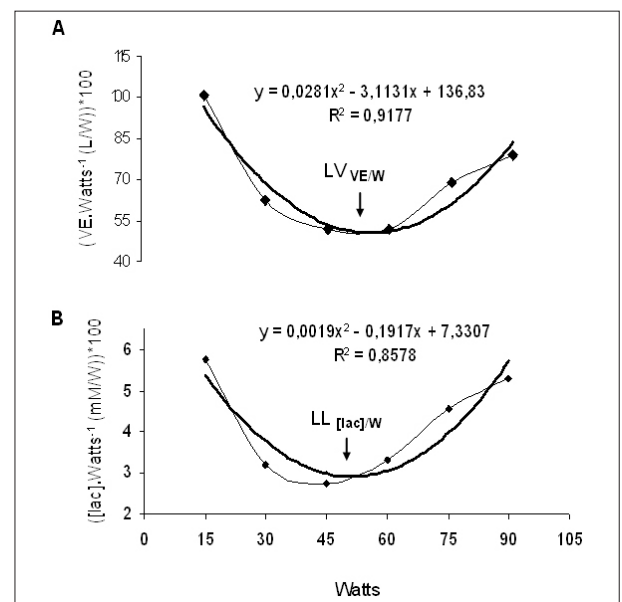


Fig. 2 - Determinação do LAn através de ajuste de função polinomial de segundo grau das razões  $VE/carga$  de trabalho ( $LV_{VE/W}$ ) (A) e  $[lac]/carga$  de trabalho ( $LL_{[lac]/W}$ ) (B) para um indivíduo com diabetes tipo 2.

### Tratamento estatístico e procedimentos para comparação

Os dados são apresentados como médias e desvios-padrão (DP). Os resultados médios do TI para todos os participantes são apresentados no “Início” (primeiro estágio do teste incremental), M1 (ponto médio entre o primeiro estágio e o LAn), LAn (cargas de trabalho do LV, LGI e LL), M2 (ponto médio entre o LAn e o último estágio/exaustão) e o “final” (último estágio/momento de exaustão). Comparações entre as intensidades de LAn identificado por diferentes métodos foram realizadas através de Análise de Variância, com *post-hoc* de Tuckey-Kraemer. Teste t-student para amostras não pareadas foi aplicado para comparações entre variáveis correspondentes de ambos os grupos. As relações entre as variáveis foram determinadas através da correlação de Pearson. Adicionalmente, a concordância entre a intensidade do LAn identificada pelo lactato sanguíneo, que foi estabelecida como o padrão-ouro, e o LAn identificado através de outros métodos no presente estudo foi avaliada pela técnica de Bland e Altman<sup>21</sup>. O nível de significância estabelecido foi  $p < 0,05$ .

### Resultados

O LAn estabelecido pelas respostas ventilatória, [lac] e [glic], bem como através das razões  $LV_{VE/W}$  e  $LL_{[lac]/W}$  foi identificado para ambos os grupos, mas o LAn não pôde ser identificado em dois participantes diabéticos. No geral, 5 a 8 estágios foram necessários para concluir o TI para a maioria dos indivíduos. As médias ( $\pm$ DP) da VE, [lac], [glic], razões  $LV_{VE/W}$  e  $LL_{[lac]/W}$  nas mesmas intensidades relativas são apresentadas para os participantes diabéticos e os não-diabéticos (Figura 3 A-E). Adicionalmente, as concentrações médias de [lac] e [glic] sanguíneos, pH, EB,  $pO_2$  e  $pCO_2$  em repouso e durante o teste incremental são apresentadas na Figura 4 (A-D). Após alcançar o LAn, as respostas da [glic] e  $pO_2$  foram similares às respostas do [lac], enquanto o pH, EB e  $pCO_2$  responderam inversamente ao [lac], VE e às razões  $LV_{VE/W}$  e  $LL_{[lac]/W}$  (Figuras 3 e 4). A despeito das diferenças entre os grupos apresentadas nas Tabelas 1 e 2, nenhuma diferença foi observada dentro dos grupos para carga de trabalho, consumo de oxigênio e frequência cardíaca em relação ao LL, LV, LGI,  $LV_{VE/W}$ ,  $LL_{[lac]/W}$  ( $p > 0,05$ ). Adicionalmente, as variáveis apresentaram uma alta correlação entre si (Tabela 3) e a técnica de Bland e Altman

evidenciou uma concordância entre LL e o LAn identificado por outros métodos (Figura 5).

### Discussão

O presente estudo comparou métodos para identificar o LAn em indivíduos com diabetes tipo 2 e indivíduos mais jovens, não-diabéticos. Esta escolha de comparação entre indivíduos com diabetes tipo 2 e indivíduos mais jovens saudáveis e fisicamente ativos foi devido ao fato de, como esperado, esses grupos diferirem em termos de composição corporal e aptidão física em relação aos resultados do  $VO_{2\text{pico}}$  e LAn. Mesmo assim, os protocolos estudados foram consistentes dentro dos grupos, independente de suas características. Portanto, nossos principais achados foram que o LGI foi identificado em indivíduos com diabetes tipo 2 de forma similar aos indivíduos não-diabéticos (Figuras 2 a-b e Figura 3), apesar das diferenças entre grupos em relação às suas características físicas e estado de saúde. Foi demonstrado em ambos os grupos que o LAn pode ser identificado com sucesso durante um teste incremental em cicloergônômetro empregando as respostas das razões VE/carga de trabalho e [lac]/carga de trabalho por meio de uma função polinomial de segundo grau sem diferenças quando comparados a outros métodos (Tabela 2). Além disso, os diferentes métodos para identificar o LAn no presente estudo apresentaram alta correlação entre si e a técnica de Bland e Altman demonstrou uma concordância entre o LL e outros métodos para identificar o LAn em indivíduos diabéticos e não-diabéticos (Tabela 3; Figura 5). Em concordância com nossos estudos anteriores envolvendo indivíduos jovens e fisicamente ativos<sup>2</sup>, o presente estudo mostrou não haver equilíbrio ácido-base em intensidades acima dos limiares identificados durante o teste incremental (Figura 4), sugerindo que os protocolos estudados são válidos para a identificação de intensidades nas quais o equilíbrio ácido-base pode ser mantido durante o exercício. Apesar da menor aptidão física dos indivíduos diabéticos no presente estudo, os limiares foram observados entre 60 e 71% $VO_{2\text{max}}$  para ambos os grupos (Tabela 1 e 2). Considerados juntos, nossos achados reforçam a validade dos presentes métodos para identificar o LAn como uma intensidade de

**Tabela 2 – Médias ( $\pm$ DP) da carga de trabalho, consumo de oxigênio ( $VO_2$ ), lactato sanguíneo, glicemia e frequência cardíaca correspondente ao LAn identificado através de diferentes métodos para indivíduos com diabetes tipo 2 e indivíduos não-diabéticos**

|  | Diabéticos tipo 2 |                 |                 |                 |                 | Não-diabéticos  |                 |                 |                 |                 |
|--|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|  | LL                | LGI             | LV              | $LL_{[lac]/W}$  | $LV_{VE/W}$     | LL              | LGI             | LV              | $LL_{[lac]/W}$  | $LV_{VE/W}$     |
| Carga de trabalho (Watts)                    | 85,0*<br>(32,1)   | 86,0*<br>(33,8) | 88,0*<br>(31,7) | 82,0*<br>(20,9) | 90,2*<br>(22,2) | 139,0<br>(39,0) | 140,8<br>(36,4) | 133,0<br>(42,7) | 122,7<br>(44,3) | 133,0<br>(39,1) |
| $VO_2$ ( $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) | 16,0*<br>(5,1)    | 16,3*<br>(4,8)  | 16,6*<br>(5,5)  | 15,8*<br>(3,8)  | 16,6*<br>(4,4)  | 28,3<br>(7,3)   | 28,8<br>(8,7)   | 27,4<br>(8,5)   | 25,2<br>(9,0)   | 27,1<br>(8,1)   |
| [lac] (mM)                                   | 2,5<br>(1,0)      | 2,5<br>(0,8)    | 2,7<br>(1,1)    | 2,5<br>(1,0)    | 2,8<br>(1,0)    | 2,8<br>(1,2)    | 3,3<br>(2,3)    | 3,0<br>(1,9)    | 2,5<br>(1,4)    | 2,7<br>(1,1)    |
| [glic] (mM)                                  | 6,6*<br>(1,8)     | 6,2*<br>(1,7)   | 6,7*<br>(1,9)   | 6,8*<br>(2,1)   | 6,6*<br>(2,1)   | 4,3<br>(0,7)    | 4,0<br>(0,8)    | 4,6<br>(1,0)    | 4,6<br>(1,0)    | 4,4<br>(0,8)    |
| FC (bpm)                                     | 124,9<br>(15,1)   | 126,4<br>(14,1) | 126,2<br>(15,2) | 122,5<br>(12,2) | 127,7<br>(11,6) | 136,7<br>(24,1) | 138,9<br>(20,9) | 133,3<br>(25,1) | 123,5<br>(27,6) | 132,3<br>(23,4) |

\* $p < 0,05$  em relação à variável correspondente no grupo não-diabético.

**Tabela 3 – Correlação entre intensidades de exercício correspondentes ao LAn identificado por diferentes métodos**

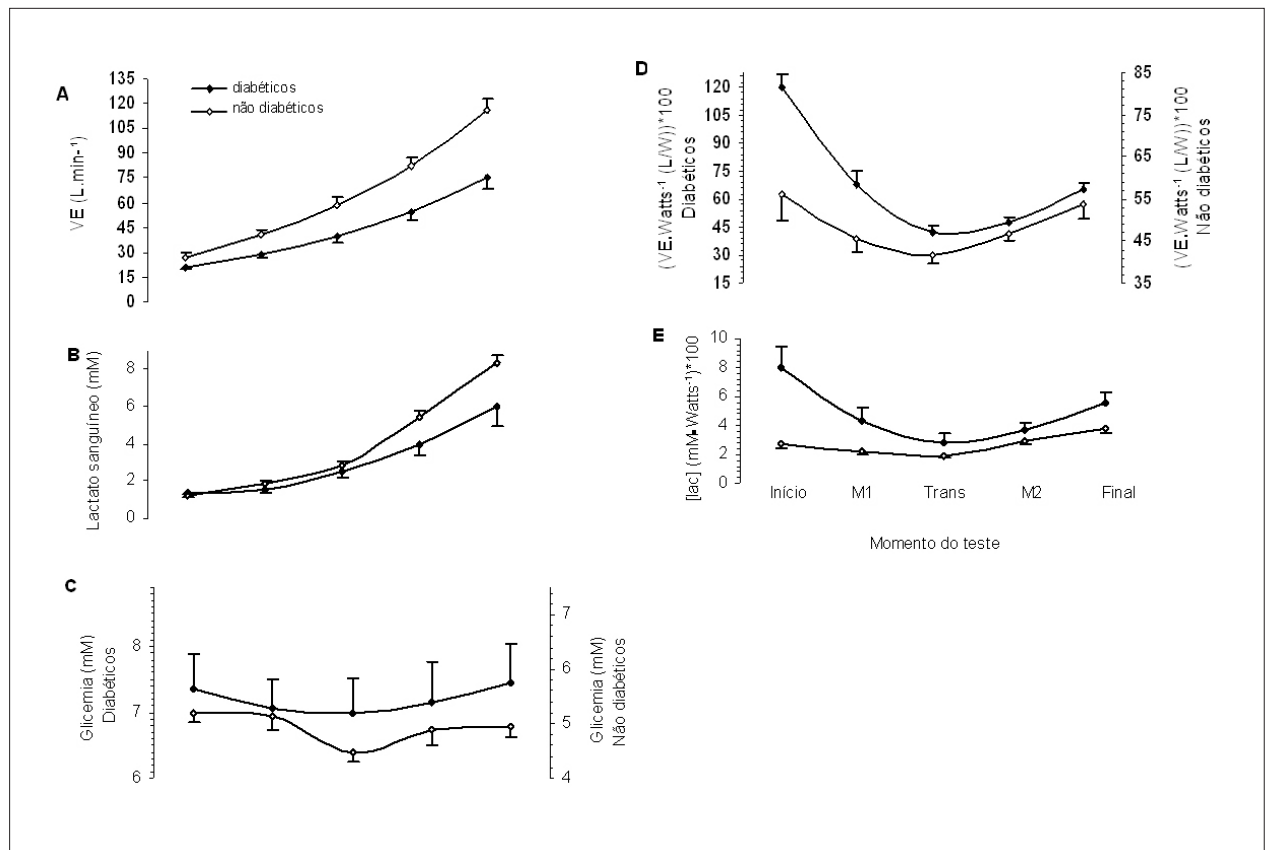
|                       | LGI   | LV    | LV <sub>VE/W</sub> | LL <sub>[lac]/W</sub> |
|-----------------------|-------|-------|--------------------|-----------------------|
| <b>Diabéticos</b>     |       |       |                    |                       |
| LL                    | 0,77* | 0,96* | 0,98*              | 0,92*                 |
| LGI                   | --    | 0,80* | 0,79*              | 0,73 <sup>†</sup>     |
| LV                    | --    | --    | 0,98*              | 0,95*                 |
| LV <sub>VE/W</sub>    | --    | --    | --                 | 0,97*                 |
| <b>Não-diabéticos</b> |       |       |                    |                       |
| LL                    | 0,77* | 0,93* | 0,88*              | 0,77*                 |
| LGI                   | --    | 0,82* | 0,78*              | 0,73 <sup>†</sup>     |
| LV                    | --    | --    | 0,94*              | 0,88*                 |
| LV <sub>VE/W</sub>    | --    | --    | --                 | 0,84*                 |

\*  $p < 0,01$ ; <sup>†</sup>  $p < 0,05$  para a correlação entre variáveis.

exercício acima da qual ambos a acidose metabólica e a elevação da [glic] ocorrem.

Sugerimos que o LGI possa demarcar uma transição da predominância da captação da [glic] para a produção da [glic] estimulada pelas catecolaminas e glucagon durante exercícios de alta intensidade<sup>22</sup>. O LGI foi determinado em

83,3% (10/12) dos participantes diabéticos enquanto todos os participantes não-diabéticos tiveram seu LGI identificado no presente estudo. A não-identificação do LGI em alguns participantes diabéticos foi causada por distúrbios metabólico-hormonais ou por efeito de agentes hipoglicemiantes, cuja utilização não foi interrompida durante o estudo. Entretanto, nossos resultados indicam que a intensidade do exercício que pode causar um aumento da [glic] foi similarmente identificada pelas respostas do lactato sanguíneo ou ventilatória (Tabela 2), o que por sua vez pode ter aplicações clínicas no controle da glicemia do diabetes tipo 2. Considerando que os indivíduos com diabetes tipo 2 podem ter problemas com a coagulação sanguínea e recuperação de dano tecidual, a utilização do LV parece ser atraente devido à sua natureza não-invasiva, porém o seu custo é elevado. Nossos dados demonstraram que a razão VE/carga de trabalho através de uma função polinomial resulta em uma equação de segundo grau que pode ser derivada e aplicada a fim de se identificar em qual intensidade ocorre um aumento desproporcional da VE e portanto o LV ocorre (Figura 2). O modelo da função polinomial da razão VE/carga de trabalho resulta em uma curva em U similar à razão [lac]/carga de trabalho em ambos os grupos. Este método permite a identificação do LAn sem análises de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> ou interpretação de dois ou mais especialistas. Além disso, sendo não-invasiva, ela é independente da qualquer valor específico de ventilação, mas ao invés disso, dependente de



**Fig. 3 (A-E) - Respostas da VE, [lac], [glic], razões VE/carga de trabalho e [lac]/carga de trabalho durante teste incremental nas mesmas intensidades relativas (M1 – ponto médio entre carga de início e de Trans/LAn; M2 – ponto médio entre carga correspondente a Trans/LAn e carga final do teste incremental) para os indivíduos portadores de diabetes (n=10) e não diabéticos (n=10).**

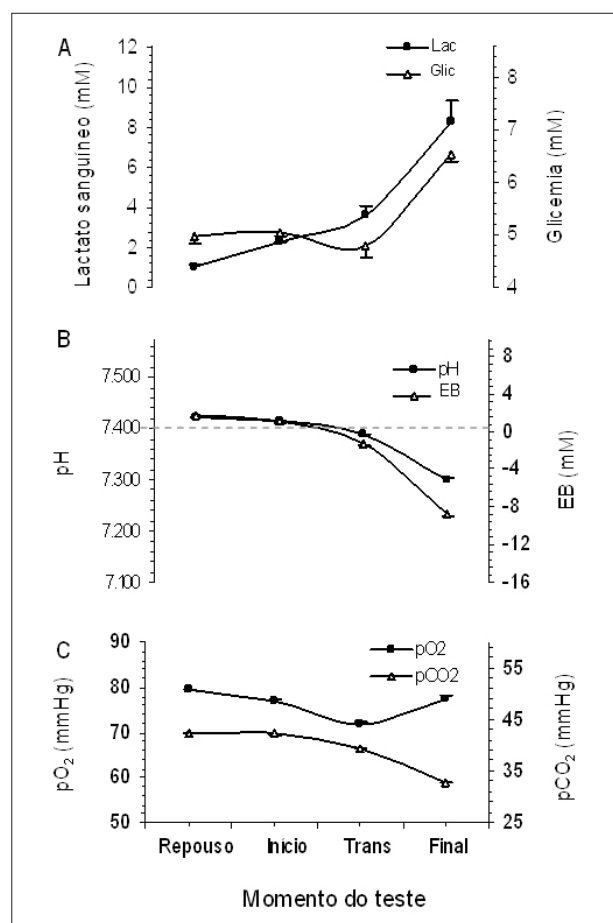


Fig. 4 - Lactato sanguíneo e glicemia (A), pH e EB (B), pO<sub>2</sub> e pCO<sub>2</sub> (C) em repouso e durante o teste incremental para 5 participantes não-diabéticos.

seu comportamento.

A resistência à insulina tem sido associada com acúmulo de gordura no músculo<sup>18</sup>. A identificação do LAn a partir da glicemia e das respostas VE/carga de trabalho são métodos simples que podem identificar as intensidades ideais de

exercício para o controle da glicemia em portadores de diabetes tipo 2. Enquanto o exercício agudo na intensidade do LGI pode melhorar o perfil da glicemia, cronicamente ele evitaria o acúmulo da gordura no músculo e assim, melhoraria a sensibilidade à insulina de tais pacientes. Entretanto, estudos futuros devem investigar ambos os efeitos agudo e crônico do exercício realizado em intensidades relacionadas ao LAn em indivíduos portadores de diabetes tipo 2.

Concluimos que, similarmente a indivíduos não-diabéticos, o LAn pode ser identificado de forma precisa em indivíduos com diabetes tipo 2 durante o teste incremental em cicloergômetro, por meio das respostas de glicemia, bem como através da aplicação de uma função polinomial de segundo grau na relação VE/carga de trabalho. Além disso, os resultados obtidos pela aplicação dos métodos propostos para identificar o LAn não diferiram uns dos outros e parecem indicar uma intensidade de exercício acima da qual a glicemia é aumentada e o equilíbrio ácido-base é perdido.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (proc. 475575/2004-0) e SIGEP/UCB pelo apoio financeiro. Além disso, nossos agradecimentos ao Dr. Ricardo Jacó de Oliveira por sua colaboração e ao LAFIT-UCB pela assistência técnica.

### Potencial Conflito de Interesses

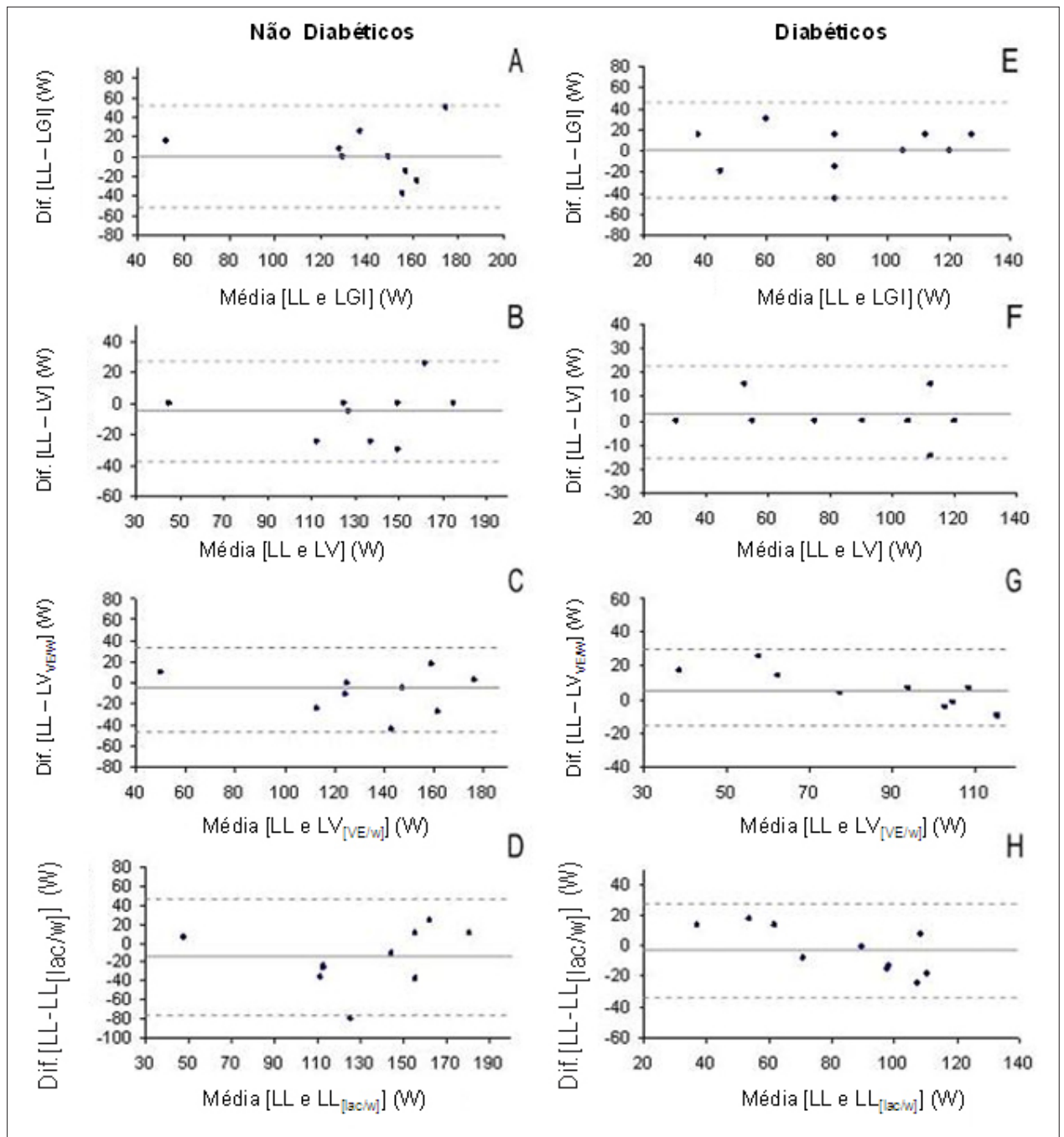
Declaro não haver conflito de interesses pertinentes.

### Fontes de Financiamento

O presente estudo foi financiado pelo Cnpq.

### Vinculação Acadêmica

Este artigo é parte de tese de Mestrado e Doutorado de Sérgio R. Moreira, Gabrielle do Valle e Herbert G. Simões, pela Universidade Católica de Brasília, Universidade Estadual da Flórida e Universidade Federal de São Carlos.



**Fig. 5 -** Concordância entre LL e LGI (A), LL e LV (B), LL e LV<sub>VEW</sub> (C), LL e LL<sub>[lac/w]</sub> (D) para Não-Diabéticos e LL e LGI (E), LL e LV (F), LL e LV<sub>VEW</sub> (G), LL e LL<sub>[lac/w]</sub> (H) para Diabéticos (Bland e Altman 1986).

### Referências

1. Koyal S, Whipp NBJ, Huntsman D, Bray GA, Wasserman K. Ventilatory responses the metabolic acidosis of treadmill and cycle ergometry. *J Appl Physiol.* 1976; 40: 864-7.
2. Simoes HG, Campbell CS, Kushnick MR, Nakamura A, Katsanos CS, Baldissera V, et al. Blood glucose threshold and the metabolic responses to incremental exercise tests with and without prior lactic acidosis induction. *Eur J Appl Physiol.* 2003; 89: 603-11.
3. Jacobs I. Blood lactate: implications for training and sports performance. *Sports Med.* 1986; 3: 10-25.
4. Weltman A, Snead D, Stein P, Seip R, Schurrer R, Rutt R, et al. Reliability and Validity of a Continuous Incremental Treadmill Protocol for the Determination of Lactate Threshold, Fixed Blood Lactate Concentrations, and VO<sub>2</sub>max. *Int J Sports Med.* 1990; 11: 26-32.
5. Thin AG, Linnane SJ, McKone EF, Freaney R, FitzGerald MX, Gallagher CG, et al. Use of the gas exchange threshold to noninvasively determine the lactate threshold in patients with cystic fibrosis. *Chest.* 2002; 121: 1761-70.
6. Wasserman K, McIlroy M. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am J Cardiol.* 1964; 14: 844-52.
7. Hornsby WG, Albright AL. Diabetes In: Dustine JL, Moore GE, ACSM1. Exercise management for persons with chronic diseases and disabilities. 2nd ed. Champaign: Human Kinetics; 2002. p. 133-41.
8. Meyer T, Gorge G, Schwaab B, Hildebrandt K, Walldorf J, Schafer C, et al. An alternative approach for exercise prescription and efficacy testing in patients with chronic heart failure: a randomized controlled training study. *Am Heart J.* 2005; 149 (5): 1-7.
9. Kawaji K, Fujita Y, Yajima Y, Shirataka M, Kubo H. Usefulness of anaerobic threshold in estimating intensity of exercise for diabetics. *Diabetes Res Clin Pract.* 1989; 15: (4): 303-9.
10. Bertoluci MC, Firedman G, Schaan BD, Ribeiro JP, Schmid H. Intensity-related exercise albuminuria in insulin dependent diabetic patients. *Diabetes Res Clin Pract.* 1993; 19: 217-25.
11. Fugita Y, Matoba K, Takeuchi H, Ishii K, Yajima Y. Anaerobic threshold can provoke microalbuminuria in non-insulin-dependent diabetics. *Diabetes Res Clin Pract.* 1994; 22: 155-62.
12. Maiorana A, O'Driscoll G, Goodman C, Taylor R, Green D. Combined aerobic and resistance exercise improves glucemic control and fitness in type 2 diabetes. *Diabetes Res Clin Pract.* 2002; 56: 115-23.
13. Miyatake M, Takanami NS, Kawasaki Y, Fujii M. Relationship between visceral fat accumulation and physical fitness in Japanese women. *Diabetes Res Clin Pract.* 2004; 64: 173-9.
14. Kunitomi M, Takahashi K, Wada J, Suzuki H, Miyatake N, Ogawa S, et al. Re-evaluation of exercise prescription for Japanese type 2 diabetic patients by ventilatory threshold. *Diabetes Res Clin Pract.* 2000; 50: 109-15.
15. Atkinson G, Davison RCR, Nevill AM. Performance characteristics of gas analysis systems: what we know and what we need to know. *Int J Sports Med.* 2005; 26 (Suppl.1): S2-10.
16. Meyer T, Lucia A, Earnest CP, Kindermann W. A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters-theory and application. *Int J Sports Med.* 2005; 26 (Suppl.1): S38-48.
17. Simões HG, Campbell CSC, Kokubun E, Denadai BS, Baldissera V. Blood glucose responses in humans mirror lactate responses for individual anaerobic threshold and for lactate minimum in track tests. *Eur J Appl Physiol.* 1999; 80: 34-40.
18. Bruce CR, Hawley JA. Improvements in insulin resistance with aerobic exercise training: a lipocentric approach. *Med Sci Sports Exerc.* 2004; 36 (7): 1196-201.
19. Gordon NF. Hypertension. In: Dustine JL, Moore GE, ACSM1. Exercise management for persons with chronic diseases and disabilities. 2nd ed. Champaign: Human Kinetics; 2002. p. 76-80.
20. Weltman A. The blood lactate response to exercise. Champaign: Human Kinetics; 1995. (Current Issues in Exercise Science, monograph no 4).
21. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986; 1: 307-10.
22. Wasserman DH, Connolly CC, Pagliassotti MJ. Regulation of hepatic lactate balance during exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1991; 23: 912-9.