

# Comparação de modelos não lineares na descrição da frequência cardíaca de indivíduos do sexo feminino

Sílvio de Castro Silveira <sup>1</sup>

Tadeu Vilela de Souza <sup>2</sup>

Joel Augusto Muniz <sup>3 4</sup>

## 1 Introdução

Considerando a frequência cardíaca (FC) uma das variáveis fisiológicas mais utilizadas em programas de avaliação e prescrição de exercício físico (CAMBRI et al., 2006), muitos estudos foram feitos para analisar o seu comportamento em atletas por meio de testes com cargas crescentes de trabalho (CCT) por representar uma alternativa não invasiva para identificação dos limiares de transição metabólica (CONCONI et al, 1982; COSTA; LIMA; OLIVEIRA, 2007; LIMA, 1997).

Muitos autores sugerem que a identificação dos limiares de transição metabólicos seja feita por meio de curva da concentração sanguínea de lactato de indivíduos testados em atividades com cargas que variam de intensidade ou tempo. Esse método é conhecido como invasivo e além de requerer aparelhos específicos necessita também de pessoas especializadas. De acordo com Abad et al. (2007) os limiares de transição metabólica são úteis para avaliação e prescrição do treinamento aeróbio.

O objetivo deste trabalho foi de comparar a qualidade dos ajustes dos modelos Logístico, Gompertz e sigmoide de Boltzmann para a curva da frequência cardíaca pois entende-se que quanto melhor se estimar a curva regressão, mais preciso será a identificação destes limiares metabólicos.

## 2 Material e métodos

Para execução da metodologia foram utilizados dados de um experimento feito com dez indivíduos do sexo feminino com média de idade  $20,4 \pm 1,07$  anos. Todos se submeteram ao teste progressivo em cicloergômetro, com cargas de 15w incrementadas a cada minuto.

Aos dados de frequência cardíaca foram ajustados os modelos não lineares sigmoide de Boltzmann, Logístico e Gompertz. Os limiares são obtidos através do ponto de inflexão dos modelos e do ponto na curva onde se inicia o platô.

---

<sup>1</sup>DEX-UFLA. e-mail: [silviodecs@gmail.com](mailto:silviodecs@gmail.com)

<sup>2</sup>DEX - UFLA.

<sup>3</sup>DEX - UFLA.

<sup>4</sup>Agradecimento ao CNPq e Fapemig pelo apoio financeiro.

A seleção do modelo mais adequado para explicar a frequência cardíaca em cargas crescentes de trabalho será feita com base na precisão dos ajustes e obedeceu aos seguintes critérios: Desvio padrão residual e Critério de informação de Akaike (AIC).

Os parâmetros do modelo, assim como os avaliadores de qualidade e todos os gráficos foram implementados no software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012)

### 3 Resultados e discussões

Através dos avaliadores de qualidade de ajuste apresentados na Tabela 1 observa-se que o modelo sigmoide de Boltzmann apresenta melhor ajuste aos dados, devido ao menor valor do desvio padrão (DPR) e do critério de informação de Akaike (AIC).

Tabela 1: Estimativas dos critérios de seleção: desvio padrão residual (DPR) e critério de informação de Akaike (AIC) para os modelos ajustados, na descrição da frequência cardíaca em cargas crescentes de trabalho

Modelos	Critérios de seleção	
	DPR	AIC
Sigmoide de Boltzmann	1,99	68,64
Logístico	3,34	83,40
Gompertz	3,60	85,71

A Tabela 2 apresenta as estimativas para os parâmetros dos modelo ajustados à média da frequência cardíaca dos 10 indivíduos que se submeteram ao teste progressivo.

Tabela 2: Estimativas dos parâmetros para o ajuste dos modelos sigmoide de Boltzmann, Logístico e Gompertz

Modelos	Parâmetros			
	AI	AS	Inc	PI
Sigmoide de Boltzmann	100,58	195,38	38,96	90,67
	alfa	beta	gama	
Logístico	216,10	1,18	0,0108	
Gompertz	228,03	-0,17	0,007	

A estimativa para o parâmetro AI, assíntota inferior, quanto ao ajuste médio dos dados, representa a frequência cardíaca do indivíduo no período de repouso e de início de treinamento, quando a carga de trabalho ainda é muito baixa.

O parâmetro AS no modelo sigmoide de Boltzmann, assim como o parâmetro alfa nos demais modelos representam a assíntota superior, que é a frequência cardíaca máxima dos indivíduos.

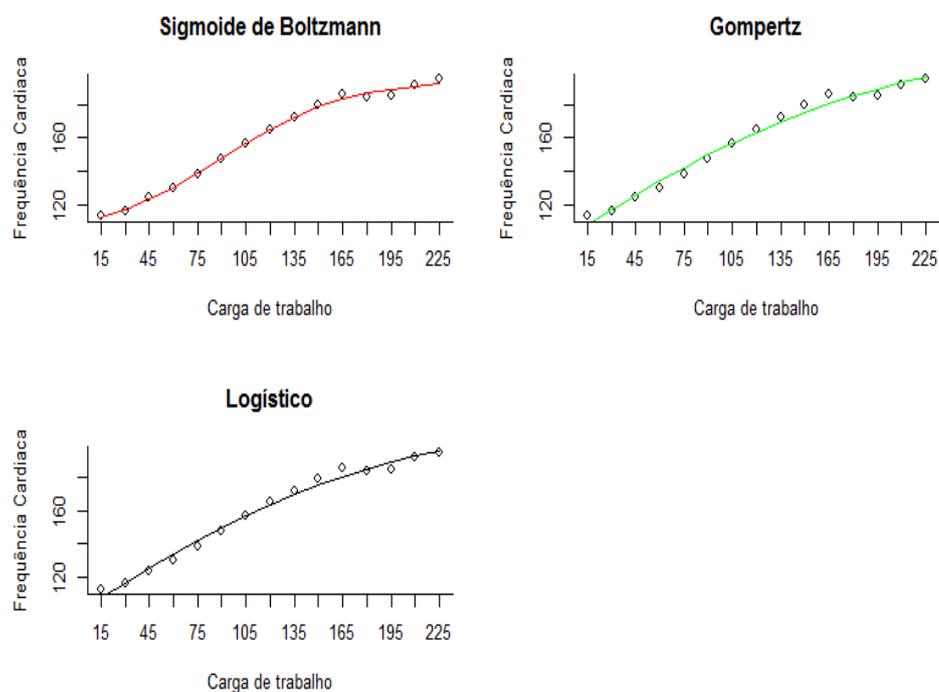
O parâmetro Inc no modelo sigmoide de Boltzmann representa a aceleração da frequência cardíaca no ponto de inflexão (PI) e os parâmetros gama nos modelos Logístico e Gompertz são também indicativos da aceleração da frequência cardíaca.

O PI no modelo sigmoide de Boltzmann é o indicativo da carga de trabalho na qual ocorre a aceleração máxima da frequência cardíaca e ajuda a identificar a mudança de concavidade, a porção anterior ao PI tem concavidade voltada para cima enquanto que após o PI a concavidade é voltada para baixo.

O Ponto de inflexão da frequência cardíaca foi estimado em 90 bpm pelo modelo sigmoide de Boltzmann e 109 bpm para o modelo Logístico, o modelo de Gompertz não conseguiu estimar o ponto de inflexão dentro do domínio estudado, já o ponto de deflexão nos três modelos ficaram próximos de 180 bpm.

A figura 1 apresenta o gráfico dos ajustes dos modelos aos dados.

Figura 1: Modelos sigmoide de Boltzmann, Logístico e Gompertz ajustado aos dados da frequência cardíaca em cargas crescentes de trabalho.



## 4 Conclusões

Quando se considera o ajuste para a média dos dados da frequência cardíaca, o ajuste pelo modelo sigmoide de Boltzmann é superior aos demais modelos.

A estimativa adotada para o primeiro e segundo limiar de lactato são as obtidas pelo modelo sigmoide de Boltzmann pois este apresentou-se superior aos demais modelos

O modelo sigmoide de Boltzmann tem ajustado bem a frequência cardíaca de indivíduos do sexo masculino e neste trabalho também mostrou-se o melhor para indivíduos do sexo feminino.

## Referências

- [1] ABAD, C. C. C. et al. **O segundo platô da variabilidade da frequência cardíaca indica o segundo limiar de transição fisiológica?** Efdeportes, Buenos Aires, n. 114, 2007. Disponível em: <http://www.efdeportes.com/efd114/variabilidade-da-frequencia-cardiaca.htm>. Acesso em: 10 jan. 2013.
- [2] CAMBRI, L. T. et al. **Frequência cardíaca e a identificação dos pontos de transição metabólica em esteira rolante.** Revista da Educação Física, Maringá, v. 17, n. 2, p. 131-137, jul./dez. 2006.
- [3] CONCONI, F. et al. **Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners.** Journal of Applied Physiology: Respiratory Environment Exercise Physiology, v.52, p.869-73, 1982.
- [4] COSTA, V. P.; LIMA, J. R. P.; OLIVEIRA, F. R. de. **Identificação de limiares metabólicos em curvas de frequência cardíaca ajustadas.** Revista Brasileira de Educação Física e Esporte, São Paulo, v. 21, n. 3, p. 219-227, set. 2007.
- [5] LIMA, J. R. P. **Frequência cardíaca em cargas crescentes de trabalho: ajuste sigmoide, ponto de inflexão e limiar de variabilidade da frequência cardíaca.** 1997. 129 f. Tese (Doutorado em Educação Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- [6] R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing.** Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2012. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 21 nov. 2012.