

# Análise do controle autônômico de controladores de tráfego aéreo por meio da variabilidade cardíaca

## *Analysis of autonomic control of air traffic controllers by heart rate variability*

Giovani Arnaldo Pacetti<sup>1</sup>; Leandro Y. A. Kawaguchi<sup>1</sup>; Márcio Parente<sup>2</sup>; Flávio Aimbire<sup>3</sup>; Nelson José Freitas da Silveira<sup>4</sup>; Regiane Albertini<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Mestres em Engenharia Biomédica, Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento – Univap. São José Campos, SP – Brasil.

<sup>2</sup>Aluno do curso de Mestrado em Ciências da Reabilitação – Uninove. São Paulo, SP – Brasil.

<sup>3</sup>Biólogo/Doutor – Unifesp. São José Campos, SP – Brasil.

<sup>4</sup>Matemático/Doutor – Unifal. Alfenas, MG – Brasil.

<sup>5</sup>Fisioterapeuta/Doutora Programa de Mestrado em Ciências da Reabilitação – Uninove. São Paulo, SP – Brasil.

### Endereço para correspondência

Regiane Albertini

Av. Francisco Matarazzo, 612 – Água Branca.

05001-100 – São Paulo – SP [Brasil]

regianealbertini@uninove.br

### Resumo

**Objetivo:** Analisar o comportamento do SNA por meio da análise da variabilidade da frequência cardíaca em controladores de tráfego aéreo. **Métodos:** Vinte alunos foram submetidos a dois protocolos: a) repouso e b) prática simulada de não radar. Os intervalos RR foram registrados por meio de um monitor cardíaco e tratados pela transformada Wavelet contínua. **Resultados:** O comportamento do sistema nervoso simpático calculado pela área sob a curva entre 0,04 e 0,15 Hz (LF) foi igual a  $852,46 \pm 519,67$ , durante a prática simulada de não radar, e de  $332,4 \pm 286,58$ , para o sistema simpático durante repouso  $p \leq 0,05$ . Analisando o comportamento da FC nas situações de prática simulada de não radar e repouso, obtiveram-se valores, respectivamente, de  $86,424 \pm 12,36$  e  $60,80 \pm 7,30$ ,  $p \leq 0,05$ . **Conclusão:** Os controladores de tráfego aéreo apresentaram predomínio de estímulo simpático e aumento de FC, mostrando alto índice de estresse durante a atividade.

**Descritores:** Estresse; Frequência cardíaca; Sistema Nervoso Autônomo.

### Abstract

**Objective:** To examine the behavior of the autonomic nervous system by examining the variability of heart rate in air traffic controllers. **Methods:** Twenty students were subjected to two different protocols to) rest and b) non-radar simulation practice. The RR intervals were recorded by a cardiac monitor and treated by continuous Wavelet transformed. **Results:** The behavior of the sympathetic nervous system calculated by the area under the curve between 0.04 and 0.15 Hz (LF) was equal to  $852.46 \pm 519.67$  during the non-radar simulation practice, and  $332.4 \pm 286.58$  for the sympathetic nervous system during the rest  $p \leq 0.05$ . Analyzing the behavior of HR in situations of non-radar simulation practice and in rest, we obtained values, respectively, of  $86.424 \pm 12.36 \pm 7.30$  and  $60.80$ ,  $p \leq 0.05$ . **Conclusion:** The air traffic controllers showed a predominance of sympathetic stimulation and increased the HR, showing high level of stress during the activity.

**Key words:** Autonomic nervous system; Heart rate; Stress.

## Introdução

O controle de tráfego aéreo é um serviço prestado pelo Ministério da Aeronáutica do Brasil, com a finalidade de acelerar e manter ordenado e seguro o fluxo de tráfego aéreo<sup>1,2,3</sup>. Os profissionais que realizam esse tipo de controle aéreo estão sujeitos à situação momentânea do tráfego de aeronaves, e, de acordo com sua variação, aumenta a necessidade de “resolução” rápida de “conflitos”. A variação do fluxo de aeronaves em um mesmo espaço aéreo faz com que o controlador tenha de trabalhar com uma aproximação maior das aeronaves e, em alguns casos, tendo de lidar, ao mesmo tempo, com uma quantidade superior de aeronaves<sup>4</sup>.

Woods et al.<sup>5</sup> destacam que se tem observado que pessoas adaptam suas tarefas continuamente para responder à variação de uma demanda, ou seja, atividades cognitivas e físicas variam com as mudanças dos períodos de baixa demanda para os momentos de ocupação máxima em que as exigências para execução de uma tarefa são mais críticas. Essas situações criam grandes restrições na atividade cognitiva, que acarretam desde pressões e incertezas até falhas. Para os controladores de voo, as situações estressantes no trabalho são frequentes, como, por exemplo, quando há risco de colisão de aeronaves, isto é, quando a condição de aproximação entre aeronaves, ou entre elas e obstáculos na superfície exige orientações para mudanças bruscas de direção e de procedimentos de voo, que lhes garantam trafegar com segurança; quando surgem falhas de serviços terrestres; ou mesmo uma dificuldade grave causada por falha na execução do piloto. Todas essas dificuldades do dia a dia do controle do espaço aéreo podem provocar distúrbios de cognição nesses profissionais, e, conseqüentemente, acarretar erros que colocam em risco a vida de outros indivíduos<sup>6</sup>.

No caso do controle de tráfego aéreo, a maior quantidade de falhas ocorre nas seguintes proporções: entre 70% e 74%, sob condições

complexas de tráfego moderado; 62%, quando controladores têm menos que seis anos de experiência, e 45%, durante os primeiros quinze minutos de um controlador no seu posto de trabalho<sup>6,7</sup>.

Falhas, de modo geral, tornam-se ainda mais preocupantes, considerando que o tráfego aéreo, no segmento de voo doméstico cresceu 600% nos últimos oito anos<sup>8</sup>. Equipamentos mais modernos e rápidos contribuíram para esse aumento. No Brasil, em 1986, 10% da frota aérea era constituída de aeronaves com turboélice; atualmente, ela é composta por jatos. Também, no tráfego regional, os táxis aéreos a jato vêm ocupando espaço<sup>9</sup>, o que intensifica o fluxo de aeronaves e aumenta os riscos de falhas.

De acordo com alguns autores<sup>10</sup>, a aviação regular de fatores estressantes é fundamental para a manutenção da capacidade física e da eficiência dos controladores de tráfego aéreo, além de assegurar a saúde desses trabalhadores em longo prazo. O estresse psicológico desses profissionais decorrente de condições variadas quanto às exigências do trabalho, tais como dificuldades de comunicação com pilotos e supervisores, trabalho em turnos alternados e pausas para descanso estabelecidas de forma irregular e não sistemática, elevados níveis de exigência de memória e percepção mental para lidar com um idioma diferente do seu, faz com que esses operadores mostrem maior incidência de sintomas de estresse quando comparados a profissionais de outras categorias. Como decorrência, o quadro de instabilidade emocional – que acarreta depressão, falta de concentração e dificuldade de julgamento –, pode implicar em conseqüências nefastas na operação dos sistemas de controle do tráfego aéreo<sup>11</sup>.

O sistema nervoso autônomo (SNA) influencia o ritmo inerente do miocárdio por meio dos componentes simpático e parassimpático<sup>12</sup>; porém, o simpático desenvolve uma ação mais ampla que o parassimpático<sup>13</sup>. O equilíbrio da atuação de ambos os sistemas nervosos é denominado de balanço simpato-

vagal ou de equilíbrio autonômico e serve com indicativo da interação das vias parassimpáticas e simpáticas do sistema nervoso autônomo<sup>13, 14, 15, 16</sup>.

Segundo Nunan D, Sandercock GR, Brodie DA<sup>14</sup>, uma maneira de verificar o comportamento desse balanço simpátovagal é o estudo da Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) e, apesar de algumas críticas<sup>17</sup>, essa técnica vem sendo bastante utilizada. Durante o estresse físico ou emocional, ocorre um predomínio da porção simpática sobre a parassimpática<sup>18</sup>. No entanto, o sistema parassimpático atua para conservar os recursos do corpo e restaurar o equilíbrio do estado, ou seja, como um verdadeiro sistema capaz de modular as respostas simpáticas. Uma das características mais notáveis do SNA é a rapidez e intensidade com que pode alterar as funções viscerais<sup>19, 20, 21, 22</sup>.

A profissão de controlador de voo está entre as profissões que mais causam estresse e esse distúrbio, e suas consequências, é uma das doenças que mais atingem hoje a população brasileira. Um estudo realizado pela *International Stress Management Association* (ISMA) mostra que atualmente 70% dos brasileiros sofrem de estresse no trabalho, e os três grupos mais afetados por essa doença são os profissionais da área da saúde, os do setor de segurança pública e os de voos. Diante do exposto, o objetivo neste trabalho é analisar o comportamento do sistema nervoso simpático e parassimpático por meio da variabilidade cardíaca em alunos do curso de formação militar na especialidade de controle de tráfego aéreo.

## Material e método

### População de estudo

Fizeram parte do estudo 20 alunos do curso de formação de sargento na especialidade de controle de tráfego aéreo, nos níveis da terceira série. O protocolo do trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa (CEP), sob o registro H293/CEP/2007.

### Critérios de exclusão

Foram adotados como critérios de exclusão os seguintes aspectos: alunos que fizeram o uso de medicações cardioestimuladoras ou cardiodepressoras; ausência de colaboração nos procedimentos a ser realizados; estudantes com quaisquer anormalidades cardiovasculares ou que se recusassem a participar da pesquisa.

### Local do estudo

Este estudo foi realizado na Escola de Especialistas da Aeronáutica (EEAR) de Guaratinguetá, São Paulo, durante as atividades de prática simulada de não radar e também em repouso.

### Procedimentos realizados

Os participantes foram submetidos a dois protocolos diferentes: repouso e prática simulada de não radar. Durante a fase de repouso os voluntários permaneceram em decúbito dorsal, com estímulos visuais ou auditivos. Os sinais eletrocardiográficos foram coletados com frequencímetro da marca Polar S810i®, durante 10 minutos. Já na prática simulada de não radar todos os alunos analisados foram submetidos a um registro dos batimentos cardíacos, em sala climatizada a 23 °C, na posição sentada, pelo tempo de 10 minutos, recebendo as instruções para procedimento de controle das aeronaves, de acordo com as fichas de progressão de voo (cartas).

### Tratamento dos dados

Para análise da VFC, os dados coletados do monitor cardíaco Polar S810i® foram transmitidos via sensor infravermelho para um *laptop* equipado com o *software Polar Precision Performance* e extraído os intervalos RR em arquivo de texto (TXT).

Em seguida, foram tratados no programa Matlab 6.1 para realização da Transformada Wavelet Contínua (TWC) a fim de obter-se a

evolução da potência do sinal a diferentes níveis frequências de decomposição, a qual proporcionou o cálculo da evolução temporal dos índices do Sistema Nervoso Autônomo, ou seja, o cálculo da área de baixa frequência (LF = *low frequency*, 0,04-0,15 Hz) e da alta frequência (HF = *high frequency*, 0,15-0,4 Hz).

Neste estudo, a LF representa a área do sistema simpático e parassimpático, e a HF, relaciona-se a correspondente à atividade parassimpática. O balanço autônomo foi dado pela razão entre a área simpática e parassimpática (razão LF/HF)<sup>27</sup>. A Transformada Wavelet Contínua (TWC) foi calculada na plataforma MatLab 6.1® pelo algoritmo de Morlet, desenvolvido e adaptado pelo Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento (IP&D) da Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP), o qual analisa as frequências pertencentes ao sistema e identifica nelas uma relação entre tempo e frequência.

Por meio do cálculo da TWC, obtiveram-se os espectrogramas baseados em wavelets ou esca-logramas que podem ser obtidos tomando o módulo da TWC e elevando-o ao quadrado. Um dos resultados alcançados por meio das ondeletas é o gráfico *Global Wavelet Spectrum* (GWS), que é gerado pelo cálculo da média de energias existentes em cada intervalo de frequência. Para a realização das áreas referentes ao sistema nervoso simpático e parassimpático de acordo com suas bandas de frequências, foram utilizados os valores de GWS.

Para análise da Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC), foram considerados dois momentos: um de repouso e um de prática simulada de não radar. Essas duas fases foram avaliadas durante 10 minutos, ou seja, em um período de 0 a 600 segundos (s) para cada uma.

### Análise estatística

Todos os dados foram expressos em média e desvio-padrão e submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida do teste de Tukey para variâncias diferentes com alfa <0,05. Para as análises comparativas e geração de gráficos, utilizou-se o *software Primer of Biostatistics*.

## Resultados

A Tabela 1 resume a caracterização da amostra estudada em relação à idade, frequência respiratória e dados antropométricos.

**Tabela 1: Caracterização da amostra quanto à idade, frequência respiratória e dados antropométricos (n=20)**

Número de indivíduos	N= 20
Idade (anos)	20,9 ± 1,55
Altura (cm)	1,77 ± 0,06
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	22,61 ± 1,51
FR (rps)	16,4 ± 2,16

Nota: valores expressos em média (X) ± desvio-padrão (DP).

Analisando o comportamento da frequência cardíaca nas situações de prática simulada de não radar e repouso, obtiveram-se, respectivamente, os valores de  $86,424 \pm 12,365$  e  $60,8050 \pm 7,3017$  ( $p=0,0008$ ), conforme Figura 1, demonstrando diferença estatística entre as duas situações, esses resultados reforçam os obtidos para a estimulação simpática durante a prática simulada de não radar, pois o aumento do estímulo simpático tem como resposta o aumento da frequência cardíaca Figura 2.

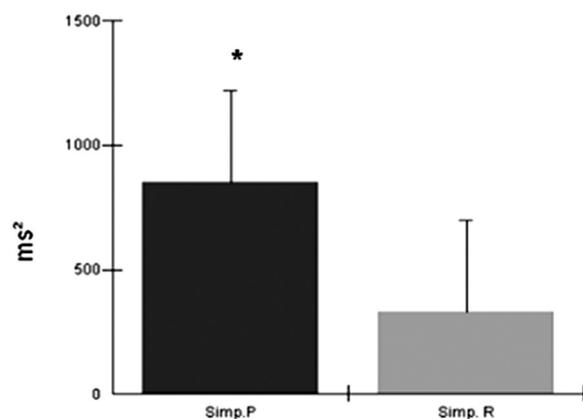
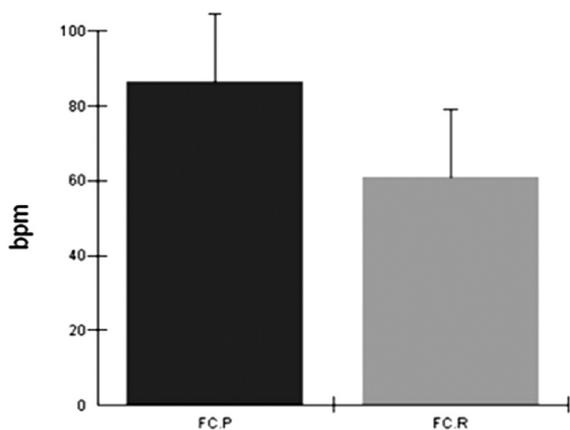


Figura 1: Comportamento do sistema nervoso simpático durante a prática simulada de não radar (Simp.P) e repouso (Simp.R) \* $p = 0,0008$



**Figura 2:** Comportamento da frequência cardíaca durante a prática simulada de não radar (FC.P) \* $p = 0,004$

## Discussão e conclusão

Neste trabalho, foi utilizada, como ferramenta para análise de VFC, a frequência cardíaca – com uso comprovado para essa finalidade e com o sinal do eletrocardiograma (ECG) captado com margem de erro 0,40%<sup>23, 24, 25</sup>. Usou-se também o frequencímetro; entretanto, para interpretar-se os dados coletados com esse equipamento foi necessário proceder a uma análise matemática a fim de modificar dados brutos em clínicos, para isso, utilizou-se a ferramenta de Wavelet.

Salienta-se, nesta pesquisa, a preocupação com a saúde de controladores de tráfego aéreo, uma vez que ela é a base para o bom desempenho de suas funções, e, conseqüentemente, para a manutenção da integridade física de muitos indivíduos que dependem desses trabalhadores. Ser responsável por vidas humanas gera ansiedade e estresse em qualquer pessoa, essa situação é ainda mais agravada no caso do controlador de voo que também tem de lidar com as deficiências do sistema operacional de tráfego aéreo no Brasil, enfrentando condições estressantes em seu trabalho diariamente, por esse motivo, os cuidados com sua saúde são de vital importância.

Considerando a situação de estresse vivenciada pelos controladores<sup>26</sup>, é relevante o estudo do comportamento do SNA. Vale destacar que se esperava que o sistema nervoso simpático dos participantes deste estudo estivesse “controlado” ao menos em situações de simulação, como as analisadas nesta pesquisa, o que evitaria danos a saúde desses trabalhadores. Entretanto, como mostra os resultados na Figura 1, tal sistema dos controladores em atividade de prática simulada de não radar mostrou-se muito mais ativado do que quando eles estão em repouso; o que sugere que esses indivíduos já enfrentam situações estressantes mesmo durante sua formação profissional. Analisando a atuação do SNA foi observado que, por meio do domínio da frequência adotando-se suas respectivas bandas<sup>27</sup> e pela análise do GWS, os valores de área do componente simpático para prática simulada de não radar mostraram uma diferença estatisticamente significativa em relação aos da área do componente simpático para o período do repouso, demonstrando uma maior estimulação do ramo simpático concomitante à diminuição do tônus vagal. Com efeito, os resultados finais, após um dia de trabalho, para esses profissionais, apontam para a completa sensação de fadiga física e de esgotamento psicológico<sup>11</sup>.

A Figura 2 mostra que a frequência cardíaca dos alunos do curso de formação de controle de tráfego aéreo em situação de prática simulada de não radar está aumentada. Isso é esperado, uma vez que o estresse induz mudanças na variabilidade da frequência cardíaca (VFC), que é caracterizada como o instante e em que o organismo percebe o agente estressor, reagindo com uma resposta adrenérgica, mediado pelo sistema nervoso autônomo, desencadeando uma taquicardia<sup>28</sup>.

Dessa forma, faz-se necessário um acompanhamento do estado de saúde de controladores de voo, visto que nas atividades de treinamento eles já vivenciam o estresse, o que pode desencadear doenças nesses profissionais e, conseqüentemente, comprometer o serviço e a segurança do tráfego aéreo brasileiro.

## Referências

1. Ashkenazy Y, Lewkowicz M, Levitan J, Moelgaard H, Bloch Thomsen PE, Saermark K. Discrimination of the healthy and sick cardiac autonomic nervous system by a new wavelet analysis of heartbeat intervals. *Fractal* [periódico na internet]. 10 May 1998 [acesso em 2007 jun 12];6(3):197-203. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/physics/9804030v1>>.
2. Bolzan MJA. Análise da transformada em ondas aplicadas em sinal geofísico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 2004;26(1):37-41.
3. Airsafetygroup. Segurança de voo/ sistema e estrutura: histórico do tráfego aéreo no Brasil. 2003 [acesso em 2007 dez 5]. Disponível em: <http://www.airafetygroup.com.br>
4. Eyferth K, Niessen C, Spaeth O. A model of air traffic controller's conflict detection and conflict resolution. *Aerospace Science and Technology*, Berlin. 2003;7:409-16.
5. Woods DD, Johannesen LJ, Cook RI, Sarter NB. Behind human error: cognitive systems, computers, and hindsight. Columbus, Ohio: CSERIAC; 1994.
6. Lin PC, Wang J, Li SC. Subjective stress factors in centrifuge training for military aircrews. *Appl Ergon*. Epub ahead of print 2011 Oct 27.
7. Hollnagel E, Woods DD, Leveson N. Resilience engineering: concepts and precepts. Basingstoke: Taylor & Francis; 2006.
8. Dados do Departamento de Aviação Civil. [DAC] Departamento de Aviação Civil. 1990 [acesso em 2000 mar 11]. Disponível em: <http://www.dac.gov>
9. Itani A. Trabalho e saúde nos transportes: entre o invisível e o risco. São Paulo: Hucitec; 1998.
10. Moreira SB, Cosendey AE, Vidal MC. Aspectos bioquímicos e hematológicos de radaristas e alterações após uma jornada de trabalho no Controle de Tráfego Aéreo do Rio de Janeiro. In: *Relatórios de Pesquisas Ergonômicas Realizadas no Controle de Tráfego Aéreo do Rio de Janeiro (APP/RJ)*, em 1999. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ; 1999. p. 64-83.
11. Araujo RCSS. O trabalho na aviação e as práticas de saúde sob o olhar do controlador de tráfego aéreo. [dissertação de mestrado em Saúde Ambiental]. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública/USP, São Paulo, 2000 [acesso em 2007 ago 24]. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-09012007-162311/>>.
12. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano. 5ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2003.
13. Douglas CR. Tratado de fisiologia aplicada às ciências médicas. 4ª ed. São Paulo: Robe Editorial; 2000.
14. Nunan D, Sandercock GR, Brodie DA. A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2010 Nov;33(11):1407-17.
15. Yamamoto Y, Hughson RL, Peterson JC. Autonomic control of heart rate during exercise studied by heart rate variability spectral analysis. *J Appl Physiol*. 1991 Sep;71(3):1136-42.
16. Rahman F, Pechnik S, Gross D, Sewell L, Goldstein DS. Low frequency power of heart rate variability reflects baroreflex function, not cardiac sympathetic innervation. *Clin Auton Res*. 2011 Jun;21(3):133-41. Epub 2011 Jan 29.
17. Goldstein DS, Benth O, Park MY, Sharabi Y. Low-frequency power of heart rate variability is not a measure of cardiac sympathetic tone but may be a measure of modulation of cardiac autonomic outflows by baroreflexes. *Exp Physiol*. 2011 Dec;96(12):1255-61. Epub 2011 Sep 2.
18. Casadei B, Cochrane S, Johnston J, Conway J, Sleight P. Pitfalls in the interpretation of spectral analysis of the rate variability during exercise in humans. *Acta Physiol Scand*, Stockholm. 1995;2:125-31.
19. Longo A, Ferreira D, Correia MJ. Variabilidade da frequência cardíaca. *Rev Port Cardiol*. 1995;14(3):241-62.
20. Menezes Jr AS, Moreira HG, Daher MT. Análise da variabilidade da frequência cardíaca em pacientes hipertensos, antes e depois do tratamento com inibidores da enzima conversora da angiotensina II. *Arqu Bras Cardiol*. 2004;83(2):165-8.
21. Brunetto A F, Roseguini BT, Moreira Silva B, Hirai DM, Guedes DP. Respostas autônomas cardíacas à manobra de Tilt em adolescentes obesos. *Rev Assoc Med Bras*. 2005;51(5):256-60.
22. Litscher G. Bioengineering assessment of acupuncture, part 7: heart rate variability. *Crit Rev Biomed Eng*. 2007;35(3-4):183-95.
23. Gamelin FX, Berthoin S, Bosque L. Validity of the polar S810 heart rate monitor to measure R-R intervals at rest. *Med Sci Sports Exerc*. 2006;38(5):887-93.

24. Paschoal MA, Volanti VM, Pires CS, Fernandes FC. Variabilidade da frequência cardíaca em diferentes faixas etárias. *Rev Bras Fisioter*, São Carlos. 2006;10(4):413-9.
25. Fronchetti L, Nakamura F, Aguiar C, Oliveira F. Indicadores de regulação autonômica cardíaca em repouso e durante exercício progressivo. Aplicação do limiar de variabilidade da frequência cardíaca. *Rev Port Cien Desp*. 2006;6(1):21-8.
26. Anadergh BB. Tensão que compromete a saúde: transporte aéreo é terceiro ramo de atividade a apresentar mais afastamentos por transtornos mentais. Brasília, DF: UnB. 2006 [acesso em 2007 jun 12]. Disponível em: <http://www.unb.br/acs/bcopauta/saude35.htm>
27. Task Force of European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Eur Heart J*. 1996;17(3):354-81.
28. Costa M, Accioly Júnior H, Oliveira J, Maia E. Stress: diagnosis of military police personnel in a Brazilian city. *Rev Panam Salud Pública*. 2007Apr;21(4):217-22.

