

Comparação do efeito da imersão e do exercício isométrico na variabilidade da frequência cardíaca medida por um cardiofrequencímetro e um smartphone

Comparison of the effect of immersion and isometric exercise on heart rate variability measured by a heart rate monitor and a smartphone

Jhennifer Carolina de Almeida Alves^{1,*} e Alexandre Konig Garcia Prado¹ 

¹Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso, Brasil.

*Autor correspondente: jhennifer-c@hotmail.com

<https://doi.org/10.31501/rbcm.v34i1.15185>

Resumo: O estudo da utilização de aplicativos de smartphones para mensuração de biomarcadores como a variabilidade da frequência cardíaca tem tido importância devido à acessibilidade que esses dispositivos oferecem à população em geral. Porém, eles precisam ser testados para que possam ser manipulados e interpretados de maneira correta. Então, o objetivo deste estudo é comparar os valores de variabilidade da frequência cardíaca obtidos de um cardiofrequencímetro e de um aplicativo via smartphone, durante imersão com e sem exercício isométrico de preensão manual. Dez adultos saudáveis de ambos os sexos foram convidados a participarem do estudo. Foi mensurada a força manual isométrica máxima. Em seguida, permaneceram em repouso sentados em uma sala arejada durante 15 minutos, logo após, permaneceram também em repouso dentro da água imersos até a altura do processo xifoide durante dez minutos com braço dominante apoiado fora da água. Na sequência, os participantes executaram 14 minutos de exercício isométrico com a mão dominante, mantendo o braço estendido ao lado do tronco, dentro da água. Por fim, eles se deslocaram para a sala novamente e permaneceram mais 10 minutos de recuperação sentados. Os intervalos RR foram mensurados em todos os momentos e de forma simultânea com a cinta torácica Polar H10 e com o aplicativo HRV Câmera (ECG for Everybody) utilizando um smartphone Motorola G6 Play. O teste t de Student pareado foi utilizado para comparar os dados entre o Polar e o aplicativo momento a momento. Gráficos de Bland-Altman e o coeficiente de correlação intraclass (ICC) foram empregados para análise da concordância entre os métodos de mensuração da VFC. Foram encontradas diferenças significativas para todas as variáveis analisadas em pelo menos um dos momentos, indicando viés nas medidas feitas pelo aplicativo, de modo que mais pesquisas são necessárias para auxiliar no aprimoramento desses aplicativos, tornando-os cada vez mais precisos.

Palavras-chave: Métodos de avaliação; Modulação autonômica cardíaca; Fotopletismografia.

Abstract: The study of the use of smartphone applications to measure biomarkers such as heart rate variability has been important due to the accessibility that these devices offer to the general population. However, they need to be tested so that they can be manipulated and interpreted correctly. Therefore, the objective of this study was to compare heart rate variability values obtained from a heart rate monitor and a smartphone application, during immersion with and without isometric handgrip exercise. Ten healthy adults of both sexes participated in the study. Maximum isometric handgrip strength was measured. They then remained at rest, sitting in an airy room for 15 minutes. Afterwards, they also remained at rest in the water immersed up to the height of the xiphoid process for ten minutes with their dominant arm resting outside the water. Next, participants performed 14 minutes of isometric exercise with their dominant hand, keeping their arm extended alongside their torso, in the water. Finally, they moved to the room again and remained seated for another 10 minutes of recovery. RR intervals were measured at all times and simultaneously with the Polar H10 chest strap and the HRV Camera application (ECG for Everybody) using a Motorola G6 Play smartphone. Paired Student's t-test was used to compare Polar and application data at each moment. Bland-Altman plots and the intraclass correlation coefficient (ICC) were used to analyze the agreement between HRV measurement methods. Significant differences were found for all variables analyzed in at least one of the moments, indicating bias in the measurements made by the application, so more research is needed to help improve these applications, making them increasingly accurate.

Keywords: Assessment methods; Cardiac autonomic modulation; Photoplethysmography.



Este trabalho está licenciado sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 4.0 Internacional.

Introdução

A modulação autonômica cardíaca pode ser avaliada de forma simples e não invasiva por meio da variabilidade da frequência cardíaca (VFC), compreendida como a oscilação dos intervalos RR consecutivos em um determinado período de tempo¹. Ela vem sendo utilizada como determinante da condição física de um indivíduo, onde valores mais altos demonstram melhor adaptação às alterações fisiológicas do sistema nervoso autônomo (SNA) sobre o coração, com maior atividade parassimpática², além de apresentar relação com doenças cardiovasculares¹.

Devido aos custos financeiros e ao tempo de medição convencional da VFC por meio de eletrocardiograma ou até mesmo por monitores portáteis de frequência cardíaca (FC)³, o uso de aplicativos de smartphone, a fim de avaliar tanto a VFC quanto outros biomarcadores, se torna importante para praticantes de exercícios físicos e atletas. A rapidez na obtenção dos dados pode tornar o trabalho mais dinâmico e ser fundamental para profissionais da saúde e equipes esportivas^{4,5}.

Ao realizar uma pesquisa relacionada à mensuração da modulação autonômica cardíaca nas lojas de aplicativos, é encontrada uma grande diversidade de aplicativos com a capacidade de mensurar a VFC, tanto por meio da fotopletimografia (FPG), quanto com sincronização com cardiofrequencímetros. Contudo, as informações fornecidas por seus desenvolvedores, na maioria das vezes, são escassas e/ou sem validação ou comprovação científica de seu funcionamento. Embora alguns aplicativos tenham apresentado níveis de concordância aceitáveis com a VFC derivada do eletrocardiograma (ECG)⁶ ou porcentagens de erro menores tenham sido observadas para alguns aplicativos³, são poucos os estudos e, consequentemente, o número de aplicativos testados na literatura⁷.

Mais do que comparar a medida da VFC em smartphones e cardiofrequencímetros, torna-se necessário avaliar a precisão dessa medida em situações de estresse tais como o exercício físico. Tem sido demonstrado que o monitoramento com FPG pode ser adequado para avaliações em repouso, porém a concordância tende a ser insuficiente devido a artefatos de movimento durante estresse físico, principalmente em estados mais ativos⁸. Uma alternativa para diminuir estes artefatos de movimento durante a realização de exercícios físicos é por meio da utilização de exercícios isométricos,

mais especificamente o exercício de preensão manual. Este exercício tem se mostrado capaz de causar alterações hemodinâmicas importantes durante sua realização⁹. Além disso, exercícios realizados na água também podem resultar em alterações importantes nas respostas cardiovasculares, inclusive na modulação autonômica cardíaca¹⁰⁻¹², caracterizando-se como um agente ambiental estressor adicional para testar a consistência da medida. Sendo assim, o objetivo deste estudo é comparar os valores de VFC obtidos de um cardiofrequencímetro e de um aplicativo via smartphone, durante imersão com e sem exercício isométrico de preensão manual.

Materiais e Métodos

Participantes

Dez adultos saudáveis de ambos os sexos (idade média $25,8 \pm 4,49$ anos, estatura média de $1,763 \pm 0,11$ m, massa corporal média de $77,92 \pm 15,97$ kg, IMC médio de $24,83 \pm 2,99$ kg/m²) participaram deste estudo. A amostragem foi realizada por conveniência com recrutamento verbal e por meio de redes sociais. Os participantes declararam estar livres de doenças cardiovasculares, metabólicas, musculoesqueléticas e renais. Este projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Saúde da Universidade Federal de Mato Grosso (CEP-Saúde, UFMT número: 01247218.0.0000.8124).

Sessão experimental

Após coleta da força isométrica máxima, os voluntários permaneceram em repouso sentado durante 15 minutos, em uma sala arejada, com os braços apoiados na coxa e a mão de avaliação da VFC supinada. Em seguida, se deslocaram para a piscina e ficaram em repouso durante 10 minutos em pé com imersão na altura do processo xifoide e o braço de avaliação da VFC (mão não dominante) em um apoio flutuante (Tapete de E.V.A.) sobre a água. Na sequência, sem sair da piscina, os participantes executaram 14 minutos de exercício isométrico com a mão dominante, mantendo o braço estendido ao lado do tronco, dentro da água. Por fim, eles se deslocaram para a sala novamente e permaneceram mais 10 minutos de recuperação sentados. O protocolo de exercício consistiu em quatro séries de dois minutos de exercício isométrico de handgrip equipado com uma mola e controle da resistência (Oxer) a 40% da força de contração máxima de preensão manual. O intervalo entre as séries foi de dois minutos¹³.

Coleta dos dados

Os participantes realizaram uma visita ao local de coletas entre as 13:00 e as 18:00, por um período de 1h e meia. A pesquisa foi realizada durante a pandemia do Coronavírus, e todos os protocolos de biossegurança foram adotados. Durante a visita, os voluntários foram informados sobre os procedimentos, assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, responderam ao questionário de anamnese, foram feitas as medidas antropométricas e a coleta da contração voluntária máxima. Em seguida, foi realizada a sessão experimental.

Contração voluntária máxima

O sujeito foi instruído a segurar o dinamômetro (SAEHAN) na mão dominante para obter uma pegada completa e realizar uma contração máxima por 4-5 segundos. Três tentativas foram dadas com uma pausa de 2 min entre elas. O valor mais alto dessas três leituras foi tomado como a força isométrica máxima de preensão manual.

Variabilidade da frequência cardíaca

Os intervalos RR foram mensurados em todos os momentos e de forma simultânea com a cinta torácica Polar H10 e com o aplicativo HRV Câmera (ECG for Everybody) utilizando um smartphone Motorola G6 Play. Os dados capturados pelo Polar H10 foram exportados e posteriormente os dados dos últimos cinco minutos foram analisados no software Kubios HRV Standard 3.51. Para o aplicativo foi utilizado o período de um minuto para mensuração, pelo menos três vezes durante as condições (três vezes durante os repouso e recuperação, a cada dois minutos durante o exercício), de uma forma que coincidisse com os dados analisados no Kubios HRV Standard 3.5. A análise foi feita pelo próprio aplicativo e foi considerado como valor referência a média entre as medições. Em seguida, os valores dos índices do domínio do tempo rMSSD (raiz quadrada da média do quadrado das diferenças entre os intervalos RR adjacentes), considerado ser um indicador de atividade parassimpática, SDNN (desvio padrão de todos os intervalos RR normais gravados em um intervalo de tempo), considerado um índice de variabilidade global, pNN50 (porcentagem dos intervalos RR adjacentes com diferença de duração maior que 50 ms) e os índices não lineares SD1 (registro instantâneo da frequência cardíaca batimento a batimento), SD2 (registro em longo prazo)¹⁴.

Análise estatística

Estatísticas descritivas foram utilizadas para os dados de caracterização dos sujeitos. Os dados são apresentados em média $\pm$ desvio padrão (DP). O teste de Shapiro-Wilk foi aplicado para verificar a normalidade dos dados. O teste t de Student pareado foi utilizado para comparar os dados entre o Polar e o aplicativo momento a momento. Gráficos de Bland-Altman e o coeficiente de correlação intraclasse (ICC) foram empregados para análise da concordância entre os métodos de mensuração da VFC, os valores de ICC de 0 a 0,30 foram considerados pequenos, 0,31 a 0,49 foram moderados, 0,50 a 0,69 foram grandes, 0,70 a 0,89 foram muito grandes e 0,90 a 1,00 foram quase perfeitos. O nível de significância adotado foi de $\alpha = 0,05$. O pacote estatístico utilizado para as análises foi o SPSS.

Resultados

Foram encontradas diferenças significativas para todas as variáveis analisadas em pelo menos um dos momentos. Para o índice rMSSD o aplicativo superestimou os valores de repouso na água em comparação ao Polar, enquanto os valores de ICC foram quase perfeitos para repouso em terra, muito grande para repouso na água, grande para as condições exercício e recuperação (Tabela 1).

Para o índice de variabilidade global, SDNN, o aplicativo subestimou os valores nos momentos de repouso em terra e na água em comparação ao Polar, enquanto os valores de ICC foram quase perfeito para repouso em terra e na água, pequeno para condição exercício e moderado para condição recuperação (Tabela 2).

Para o índice pNN50 o aplicativo superestimou os valores durante o repouso na água e durante o exercício em comparação com o Polar, enquanto os valores de ICC foram quase perfeito para repouso em terra, muito grande para repouso na água e grande para as condições exercício e recuperação (Tabela 3).

Para o índice de predominância parassimpática do método não linear o aplicativo superestimou os valores no momento de repouso na água em comparação com o Polar, enquanto os valores de ICC foram quase perfeito para repouso em terra, muito grande para repouso na água e para condição recuperação e grande para condição exercício (Tabela 4).

Para o índice SD2 o aplicativo subestimou os valores nos momentos de repouso em terra e na água em comparação com o Polar, enquanto os valores de ICC

foram muito grandes para repouso em terra, quase perfeito para repouso na água, pequeno para condição exercício e moderado para a condição recuperação (Tabela 5).

As Figuras de 1 a 5 mostram a análise de Bland-Altman para cada variável nas diferentes condições.

Foi demonstrado um viés significativo para rMSSD na condição repouso na água, para SDNN nas condições de repouso em terra e na água, para pNN50 nas condições de repouso na água e durante o exercício, para SD1 na condição de repouso na água e para SD2 nas condições de repouso em terra e na água.

Tabela 1 – Comparação dos valores de rMSSD entre aplicativo e Polar nos diferentes momentos.

Variável	Método	Média ± DP	t	p	ICC
rMSSD (ms)					
- Repouso Terra	POLAR	37,923 ± 19,033	0,342	0,741	0,939
	APP	36,981 ± 13,371			
- Repouso Água	POLAR	53,492 ± 15,114	-3,072	0,018	0,798
	APP	63,222 ± 16,820*			
- Exercício	POLAR	55,457 ± 13,032	-1,592	0,155	0,688
	APP	63,751 ± 18,144			
- Recuperação	POLAR	58,328 ± 16,182	0,383	0,711	0,698
	APP	56,426 ± 13,827			

DP, desvio padrão. APP, aplicativo de fotopletismografia. * Representa diferença significativa entre os métodos $p < 0,05$.

Tabela 2 – Comparação dos valores de SDNN entre aplicativo e Polar nos diferentes momentos.

Variável	Método	Média ± DP	t	p	ICC
SDNN (ms)					
- Repouso Terra	POLAR	42,423 ± 17,729	3,719	0,006	0,903
	APP	34,315 ± 14,494*			
- Repouso Água	POLAR	53,034 ± 15,788	2,535	0,039	0,988
	APP	49,315 ± 15,435*			
- Exercício	POLAR	57,937 ± 11,687	-1,339	0,222	0,004
	APP	79,475 ± 51,134			
- Recuperação	POLAR	56,735 ± 13,844	-1,051	0,324	0,426
	APP	69,574 ± 40,711			

DP, desvio padrão. APP, aplicativo de fotopletismografia. * Representa diferença significativa entre os métodos $p < 0,05$.

Tabela 3 – Comparação dos valores de pNN50 entre aplicativo e Polar nos diferentes momentos.

Variável	Método	Média ± DP	t	p	ICC
pNN50 (%)					
- Repouso Terra	POLAR	18,992 ± 16,688	-0,799	0,447	0,966
	APP	20,611 ± 16,004			
- Repouso Água	POLAR	32,959 ± 14,012	-3,447	0,011	0,749
	APP	44,037 ± 12,743*			
- Exercício	POLAR	32,156 ± 10,935	-2,556	0,038	0,641
	APP	42,532 ± 12,841*			
- Recuperação	POLAR	35,343 ± 13,503	-0,078	0,939	0,558
	APP	35,722 ± 12,151			

DP, desvio padrão. APP, aplicativo de fotopletismografia. * Representa diferença significativa entre os métodos $p < 0,05$.

Tabela 4 – Comparação dos valores de SD1 entre aplicativo e Polar nos diferentes momentos.

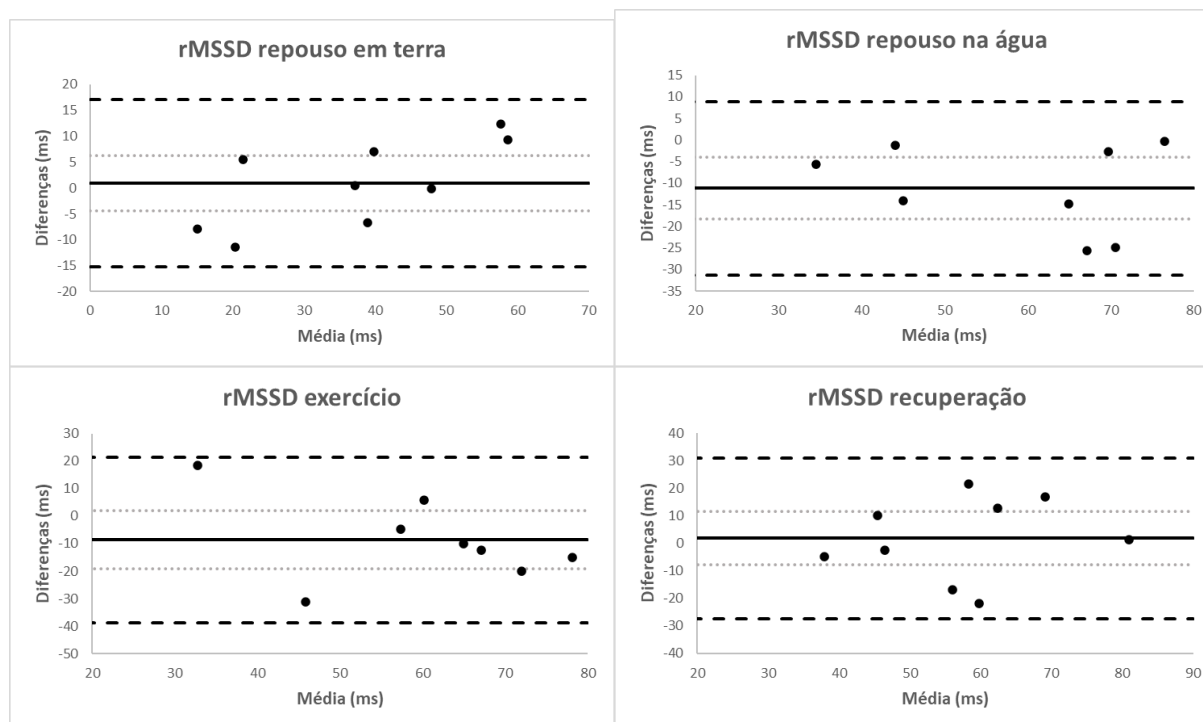
Variável	Método	Média ± DP	t	p	ICC
SD1					
- Repouso Terra	POLAR	26,854 ± 13,480	0,390	0,707	0,938
	APP	26,093 ± 9,378			
- Repouso Água	POLAR	37,882 ± 10,705	-3,088	0,018	0,805
	APP	44,685 ± 11,855*			
- Exercício	POLAR	39,235 ± 9,220	-1,575	0,159	0,692
	APP	45,018 ± 12,873			
- Recuperação	POLAR	41,277 ± 11,452	0,401	0,699	0,701
	APP	39,870 ± 9,880			

DP, desvio padrão. APP, aplicativo de fotopletiografia. * Representa diferença significativa entre os métodos $p < 0,05$.

Tabela 5 – Comparação dos valores de SD2 entre aplicativo e Polar nos diferentes momentos.

Variável	Método	Média ± DP	t	p	ICC
SD2					
- Repouso Terra	POLAR	53,465 ± 21,628	4,603	0,002	0,865
	APP	40,407 ± 18,927*			
- Repouso Água	POLAR	64,662 ± 19,964	5,777	0,001	0,926
	APP	52,759 ± 20,256*			
- Exercício	POLAR	71,784 ± 14,634	-1,046	0,330	0,020
	APP	95,832 ± 76,805			
- Recuperação	POLAR	68,511 ± 17,014	-0,860	0,415	0,396
	APP	84,759 ± 62,778			

DP, desvio padrão. APP, aplicativo de fotopletiografia. * Representa diferença significativa entre os métodos $p < 0,05$.

**Figura 1** – Análise de Bland-Altman do índice rMSSD nos diferentes momentos. Linha preta contínua representa a média das diferenças. Linha preta tracejada representa os limites de concordância superior e inferior. Linha pontilhada representa os intervalos de confiança.

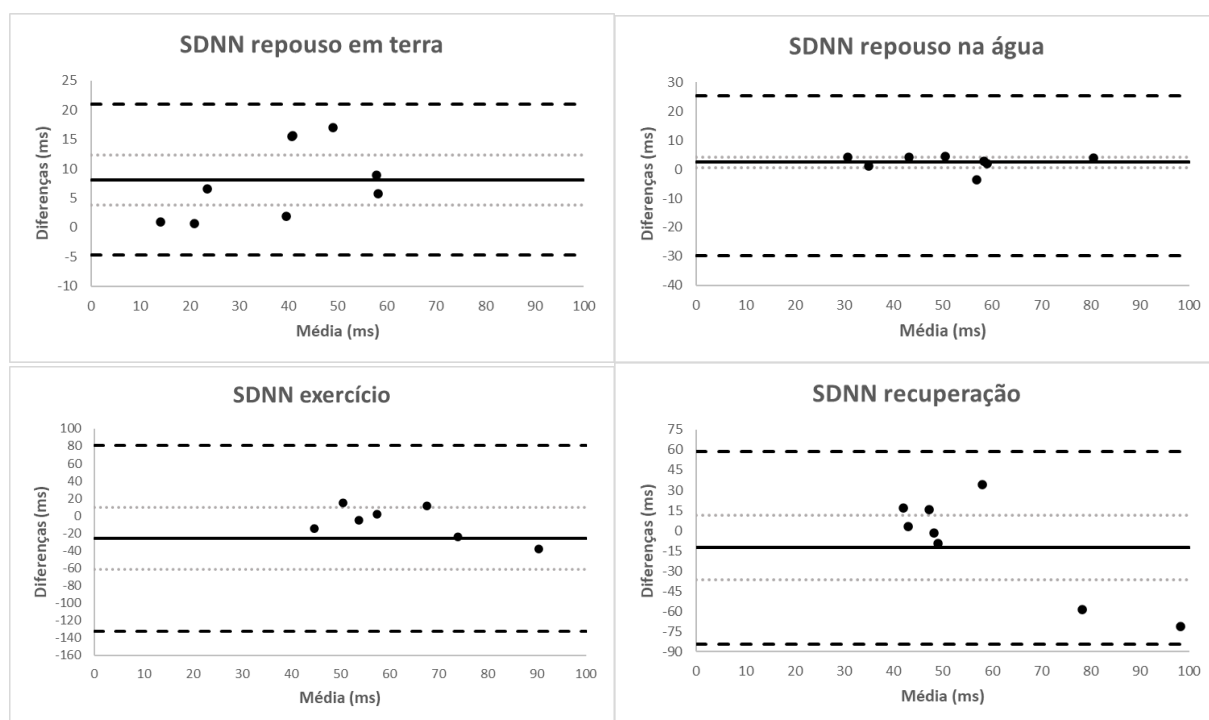


Figura 2 – Análise de Bland-Altman do índice SDNN nos diferentes momentos. Linha preta contínua representa a média das diferenças. Linha preta tracejada representa os limites de concordância superior e inferior. Linha pontilhada representa os intervalos de confiança.

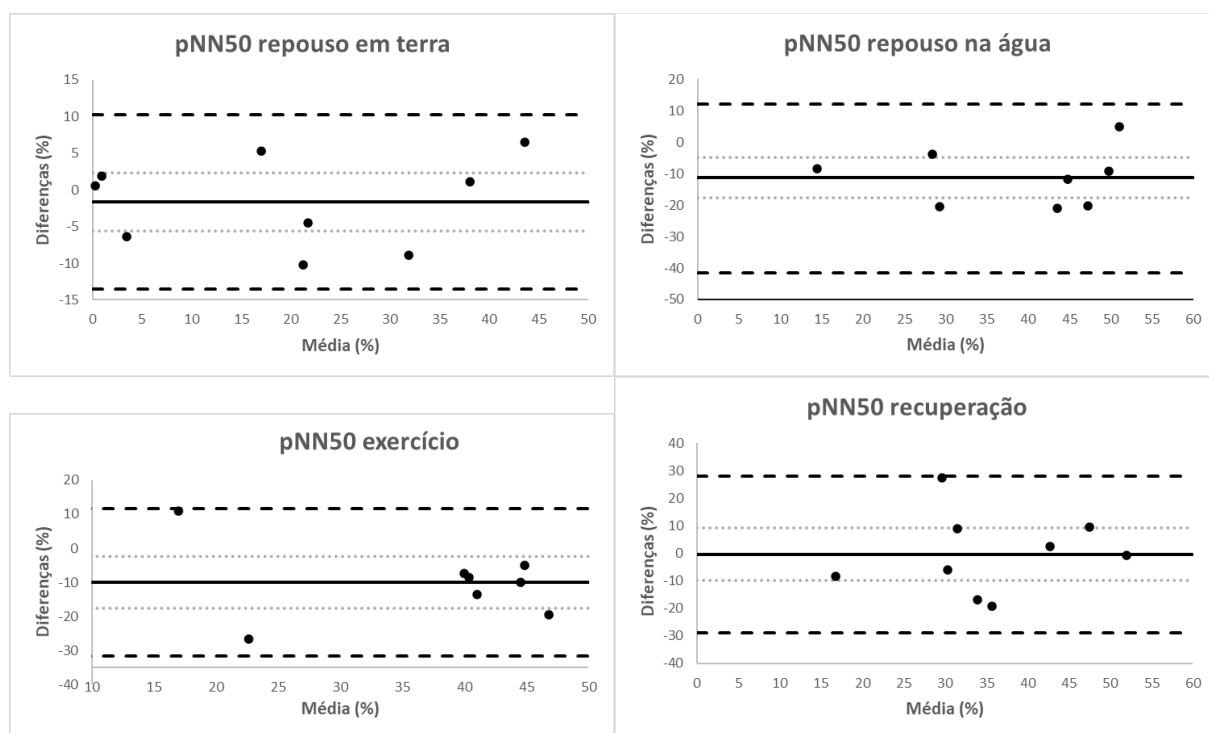


Figura 3 – Análise de Bland-Altman do índice pNN50 nos diferentes momentos. Linha preta contínua representa a média das diferenças. Linha preta tracejada representa os limites de concordância superior e inferior. Linha azul pontilhada representa os intervalos de confiança.

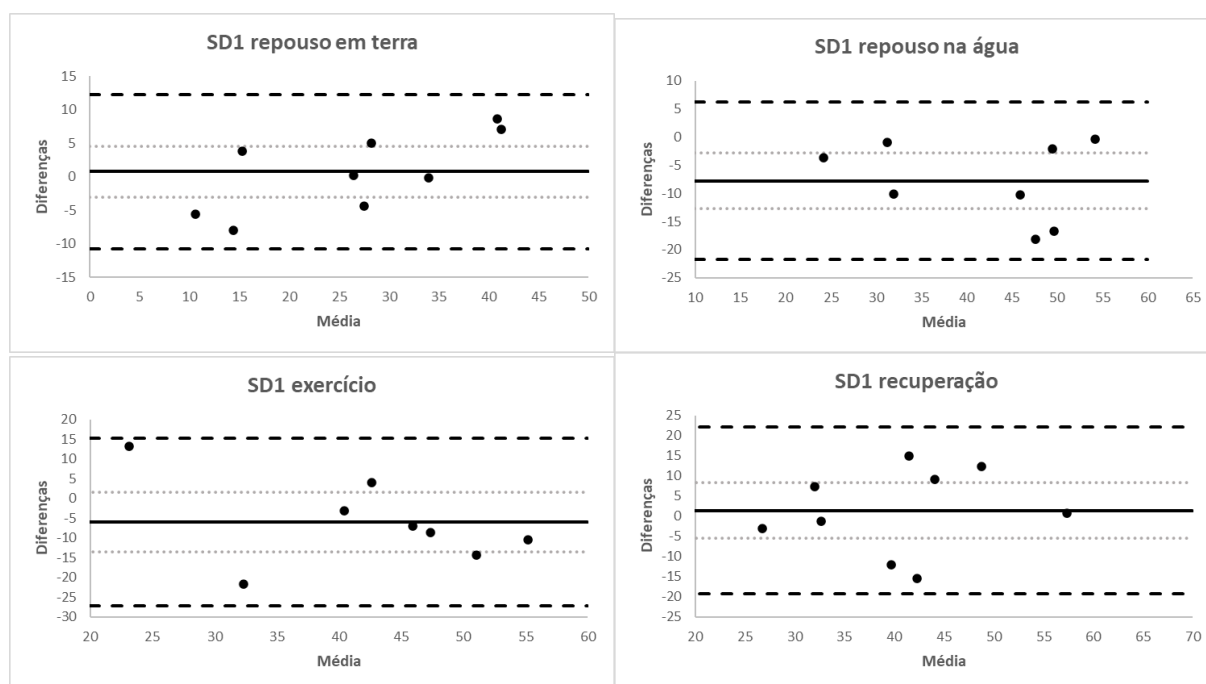


Figura 4 – Análise de Bland-Altman do índice SD1 nos diferentes momentos. Linha preta contínua representa a média das diferenças. Linha preta tracejada representa os limites de concordância superior e inferior. Linha azul pontilhada representa os intervalos de confiança.

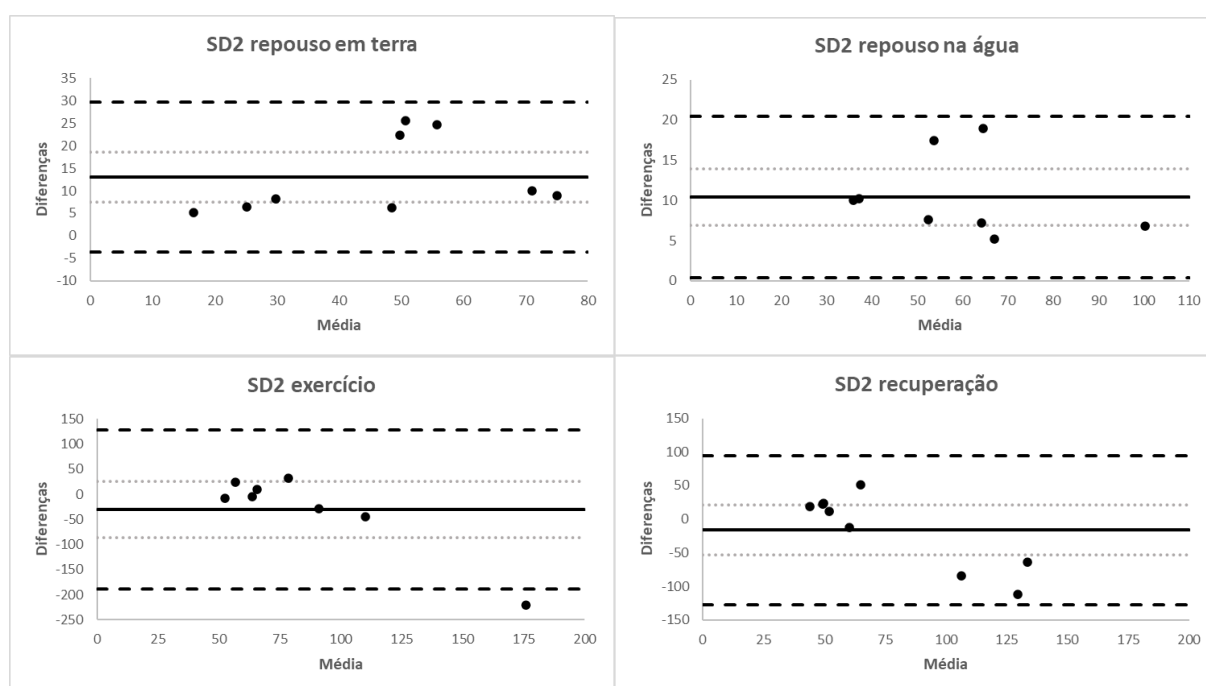


Figura 5 – Análise de Bland-Altman do índice SD2 nos diferentes momentos. Linha preta contínua representa a média das diferenças. Linha preta tracejada representa os limites de concordância superior e inferior. Linha azul pontilhada representa os intervalos de confiança.

Discussão

O objetivo deste estudo foi comparar os valores de VFC nas diferentes condições entre dois métodos. Nossos principais achados foram que houve diferenças significativas entre o aplicativo e o Polar na condição de repouso na água em todas as

variáveis com correlações variando entre muito grande e quase perfeitas, mas com viés significativo.

Stone et al.³ avaliaram a acurácia de diferentes tipos de aplicativos FPG, seus resultados mostraram que o aplicativo Câmera HRV (CameraHRV, Amsterdã, Holanda) foi o dispositivo com menor desempenho tendo valores de erros percentuais absolutos médios

excedendo os 100%. Além disso, foi o único que apresentou viés significativo nas análises de Bland-Altman para o índice rMSSD. Apesar do nome ser parecido ao utilizado no presente estudo, é um aplicativo produzido por uma empresa diferente, mas que apresentou o mesmo desempenho ruim. Por outro lado, os outros dois dispositivos FPG avaliados, HRV4Training e o Elite HRV, tiveram boa concordância com os dados de eletrocardiograma. Esses dados foram coletados na posição de repouso, o que impede a extrapolação desses resultados quando agentes estressores (imersão e/ou exercício) são impostos.

Dado o pequeno número de estudos que avaliam a precisão de aplicativos para mensuração da VFC e das diferenças de operação dos próprios aplicativos, análises comparativas com outros estudos são difíceis de serem realizadas, além da metodologia utilizada para mensurar os intervalos RR (tempo de duração, posição do corpo, entre outros). No entanto, tem sido demonstrado que o monitoramento com FPG pode ser adequado para avaliações em repouso, já quando envolve estresse físico, pesquisas mostraram que a concordância tende a ser insuficiente devido a artefatos de movimento, principalmente, em estados mais ativos⁸.

No estudo de Bolkhovskiy et al.¹⁵ foram encontradas diferenças significativas nos índices SDNN e rMSSD durante o repouso na posição supina. Na posição inclinada foram encontradas diferenças significativas para todos os parâmetros avaliados nos aparelhos Motorola Droid e iPhone 4S quando comparado com o ECG. Os dados foram registrados durante dois minutos para o ECG e no iPhone 4S e por cinco minutos no Motorola Droid com aplicativos personalizados. Foi demonstrada uma boa correlação entre os dados obtidos de um sensor de dedo com o ECG nas posições supina, sentada e ortostática para a variável lnRMSSD¹⁶. No presente estudo não houve uma avaliação na posição supina, porém foram apresentadas diferenças, tanto sentado quanto em pé na água, mas não se sabe ao certo se a posição causa interferência na precisão do aplicativo devido à possível interferência do meio.

Mais além, diferenças triviais foram encontradas ao comparar os resultados do aplicativo móvel HRV4Training com o ECG em indivíduos treinados durante o repouso sentado com respiração guiada e normal⁶. O índice analisado nesse estudo foi o rMSSD e o resultado do momento com respiração guiada se mostrou mais preciso. Em nosso estudo, este índice

não apresentou diferenças significativas entre os métodos durante o repouso sentado com respiração normal. Em outro estudo, Holmes et al.¹⁷ encontraram diferenças significativas em todos os momentos ao compararem os resultados obtidos pelo aplicativo HRV4Training em repouso sentado e após o exercício de força com os resultados do ECG para o índice lnRMSSD. Em contrapartida, nosso estudo mostrou diferenças no rMSSD apenas quando o indivíduo estava imerso em água e em pé. As diferenças podem estar relacionadas ao método de análise dos aplicativos. Nós também avaliamos a VFC durante o exercício isométrico de handgrip e nenhuma diferença foi encontrada na maior parte dos índices. Este tipo de exercício tem como característica a ausência de movimento, o que pode contribuir para uma redução desses artefatos.

É importante salientar que existem grandes diferenças nas formas em que os dispositivos processam seus dados, além das formas e das tendências dos sinais fisiológicos entre as tecnologias, as ondas do FPG são sinusoidais por natureza³. Além disso, o tempo considerado adequado para avaliações da VFC é de cinco minutos, contudo, o dispositivo aqui empregado utiliza o intervalo de um minuto para determinar os índices. Alguns estudos têm relatado que intervalos ultracurtos com duração de dez a 60 segundos apresentam dados adequados de rMSSD^{18,19}, apesar de ainda considerarem esses períodos menos precisos¹⁸.

Uma das limitações do estudo é que o aplicativo não informa a forma como são processados os dados, dificultando uma análise mais precisa sobre as influências do meio, mas é gratuito e acessível a todos que possuem um smartphone com câmera. Um ponto forte em nosso estudo é que apresentamos um número maior de variáveis analisadas, pois a maioria dos resultados publicados pelos pesquisadores se concentra no índice do domínio do tempo rMSSD.

Conclusões

Conclui-se que há diferenças nas medidas obtidas por um cardiofrequencímetro POLAR® e aquelas feitas no aplicativo HRV Camera®, tanto em repouso fora e dentro da água, quanto durante o exercício. Estes tipos de tecnologias estão cada vez mais presentes no dia a dia da população que, em geral, está preocupada com o monitoramento de seu estado de saúde, além disso, eles também podem ser utilizados por treinadores para conhecer a condição

na qual se encontram seus atletas. Tais resultados indicam um viés importante nas medidas feitas pelo aplicativo, de modo que mais pesquisas são necessárias para auxiliar no aprimoramento desses aplicativos, tornando-os cada vez mais precisos.

Referências

- Acharya UR, Joseph KP, Kannathal N, Lim CM, Suri JS. Heart rate variability: a review. *Med Biol Eng Comput.* 2006;44(12):1031-51. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17111118/>
- Pumpirla J, Howorka K, Groves D, Chester M, et al. Functional assessment of heart rate variability: physiological basis and practical applications. *Int J Cardiol.* 2002 Jul;84(1):1-14. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12104056/>
- Stone JD, Ulman HK, Tran K, Thompson AG, et al. Assessing the Accuracy of Popular Commercial Technologies That Measure Resting Heart Rate and Heart Rate Variability. *Front Sports Act Living.* 2021 Mar 1;3:585870. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33733234/>
- Chen YS, Lu WA, Pagaduan JC, Kuo CD. A Novel Smartphone App for the Measurement of Ultra-Short-Term and Short-Term Heart Rate Variability: Validity and Reliability Study. *JMIR Mhealth Uhealth.* 2020;8(7):e18761. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32735219/>
- Heathers JA. Smartphone-enabled pulse rate variability: an alternative methodology for the collection of heart rate variability in psychophysiological research. *Int J Psychophysiol.* 2013 Sep;89(3):297-304. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23751411/>
- Plews DJ, Scott B, Altini M, Wood M, et al. Comparison of Heart-Rate-Variability Recording With Smartphone Photoplethysmography, Polar H7 Chest Strap, and Electrocardiography. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017 Nov 1;12(10):1324-1328. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28290720/>
- Peart DJ, Balsalobre-Fernández C, Shaw MP. Use of Mobile Applications to Collect Data in Sport, Health, and Exercise Science: A Narrative Review. *J Strength Cond Res.* 2019;33(4):1167-1177. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29176384/>
- Schäfer A, Vagedes J. How accurate is pulse rate variability as an estimate of heart rate variability? A review on studies comparing photoplethysmographic technology with an electrocardiogram. *Int J Cardiol.* 2013 Jun 5;166(1):15-29. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22809539/>
- Gurginski RNM, Prado AKG. Hemodynamic responses to isometric exercise and water immersion: a randomized controlled pilot study with older women. *J Phys Educ Sport.* 2022;22(10):2557-2564. Disponível em: <https://efsupit.ro/images/stories/octombrie2022/Art%20324.pdf>
- Bocalini DS, Bergamin M, Evangelista AL, Rica RL, et al. Post-exercise hypotension and heart rate variability response after water- and land-ergometry exercise in hypertensive patients. *PLoS One.* 2017 Jun 28;12(6):e0180216. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28658266/>
- Fiuza AG, Pescatello IS, Monteiro ER, Chaves E, Araujo GS, Lourenco EM. Water Exercise has Less Sympathetic Modulation in Pregnant Women of Third Trimester Compared to Treadmill Exercise. *J Exerc Physiol Online.* 2018;21(4):150-161. Disponível em: <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA626122247&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=fulltext&issn=10979751&p=HRCA&sw=w&userGroupName=anon%7Eda52311d&aty=open-web-entry>
- Tarevnic R, Silva MR, Barreto AC, Macedo RB, Ferreira IBD, da Silva Novaes J. O efeito agudo do exercício físico aquático sobre a variabilidade da frequência cardíaca de grávidas. *Motricidade.* 2019;15:17-23. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/motricidade/article/view/11852>
- Inder JD, Carlson DJ, Dieberg G, McFarlane JR, Hess NC, Smart NA. Isometric exercise training for blood pressure management: a systematic review and meta-analysis to optimize benefit. *Hypertens Res.* 2016 Feb;39(2):88-94. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26467494/>
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation.* 1996 Mar 1;93(5):1043-65. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8737210/>
- Bolkhovskiy JB, Scully CG, Chon KH. Statistical analysis of heart rate and heart rate variability monitoring through the use of smart phone cameras. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2012;2012:1610-1613. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23366214/>
- Esco MR, Flatt AA, Nakamura FY. Agreement Between a Smartphone Pulse Sensor Application and Electrocardiography for Determining lnRMSSD. *J Strength Cond Res.* 2017 Feb;31(2):380-385. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28125545/>
- Holmes CJ, Fedewa MV, Winchester LJ, Macdonald HV, et al. Validity of Smartphone Heart Rate Variability Pre- and Post-Resistance Exercise. *Sensors (Basel).* 2020 Oct 9;20(20). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33050249/>
- Esco MR, Flatt AA. Ultra-short-term heart rate variability indexes at rest and post-exercise in athletes: evaluating the agreement with accepted recommendations. *J Sports Sci Med.* 2014 Sep 1;13(3):535-41. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25177179/>
- Georgiou K, Larentzakis AV, Khamis NN, Alsuhaibani GI, Alaska YA, Giallafos EJ. Can Wearable Devices Accurately Measure Heart Rate Variability? A Systematic Review. *Folia Med (Plovdiv).* 2018 Mar 1;60(1):7-20. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29668452/>