
Neurofeedback como proposta de intervenção para performance no tiro esportivo: um estudo de caso

*Leonardo Rosa Habib,
Gabrielle Barcelos,
Adriana Lacerda,
Raquel Melo,
Paulo Ribeiro,
Alberto Filgueiras*

Resumo

Neurofeedback na Psicologia do Esporte é uma ferramenta utilizada como treino suplementar de habilidades psicológicas em atletas com a finalidade de melhorar os níveis de desempenho esportivo. Esta pesquisa teve como objetivo investigar eficácia de uma intervenção utilizando a técnica de Neurofeedback para a melhoria da performance cognitiva e esportiva de um atleta de tiro de pistola de ar de dez metros. Para isso, o método utilizado foi o protocolo individualizado TLC desenvolvido por Peter Van Deusen. O protocolo foi constituído por seis sessões de cinco horas cada com frequência semanal. Os resultados revelaram que a melhoria da performance esportiva inicialmente hipotetizada não foi estatisticamente significativa. Em contrapartida, houve melhora na capacidade cognitiva, especificamente resolução de problemas. Em relação aos dados coletados do eletroencefalograma quantitativo, os dados aferidos e comparados antes, durante e após a intervenção também não apresentaram mudança estatisticamente significativa. A conclusão que esses achados permitem é que, em específico para este atleta, o protocolo TLC não contribuiu para qualquer modificação de desempenho esportivo e foi limitado em termos cognitivos.

Palavras-chave: Neurofeedback, Desempenho Atlético, Psicologia do Esporte, Aprendizagem, Cognição.

Neurofeedback as an intervention proposal for sport shooting performance: a case study

Leonardo Rosa Habib, Gabrielle Barcelos, Adriana Lacerda, Raquel Melo, Paulo Ribeiro, Alberto Filgueiras

Abstract

Neurofeedback is tool used in Sport Psychology as a complementary psychological skills training for athletes in order to improve sport performance levels. The present research aimed to investigate the efficacy of an intervention using a Neurofeedback technique to enhance one athlete's cognitive and sport performance. The method adopted to this intent was the individualized protocol TLC developed by Peter Van Deusen. The protocol was a five-hour session weekly for six week straight. Results revealed that the initially hypothesized improvement on sport performance was not statistically significant. On the other hand, there was enhancement of cognitive performance, specifically problem-solving ability. Regarding the Quantitative Electroencephalography, data collected before, during and after intervention also did not show any significant change. These findings lead to the conclusion that, at least for this athlete in particular, the TLC protocol did not lead to any improvement of sport performance and its contributions were limited regarding cognitive performance.

Keywords: Neurofeedback, Athletic Performance, Sport Psychology, Learning, Cognition.

Neurofeedback como proposta de intervención para el rendimiento del tiro deportivo: un estudio de caso

Leonardo Rosa Habib, Gabrielle Barcelos, Adriana Lacerda, Raquel Melo, Paulo Ribeiro, Alberto Filgueiras

Resumen

El Neurofeedback en Psicología del Deporte es una herramienta que se utiliza como entrenamiento de habilidades psicológicas complementarias en deportistas con el fin de mejorar los niveles de rendimiento deportivo. Esta investigación tuvo como objetivo investigar la efectividad de una intervención mediante la técnica de Neurofeedback para mejorar el rendimiento cognitivo y deportivo de un atleta de tiro con pistola de aire de 10 metros. Para ello, el método utilizado fue el protocolo de TLC individualizado desarrollado por Peter Van Deusen. El protocolo consistió en seis sesiones de cinco horas cada una con una frecuencia semanal. Los resultados revelaron que la mejora en el rendimiento deportivo inicialmente hipotetizada no fue estadísticamente significativa. Por el contrario, hubo una mejora en la capacidad cognitiva, específicamente en la resolución de problemas. En cuanto a los datos recogidos del electroencefalograma cuantitativo, los datos medidos y comparados antes, durante y después de la intervención tampoco mostraron ningún cambio estadísticamente significativo. La conclusión que permiten estos hallazgos es que, específicamente para este atleta, el protocolo TLC no contribuyó a ninguna modificación del rendimiento deportivo y fue limitado en términos cognitivos.

Palabras-clave: Neurofeedback, Rendimiento Atlético, Psicología del Deporte, Aprendizaje, Cognición.

Introdução

O treinamento de habilidades psicológicas utilizando a técnica de biofeedback apresenta diversas abordagens que foram desenvolvidas ao longo do tempo para que esta tecnologia seja utilizada para melhorar sintomas de algumas psicopatologias ou casos subclínicos—aqueles cujos sintomas não estão claramente estabelecidos (MIRAFAR, BECKMANN, & EHRLENSPIEL, 2017). Os métodos de biofeedback que retornam ao usuário a atividade cerebral em tempo real através de eletroencefalografia (EEG) são conhecidos como Neurofeedback (NFB). Um dos métodos de NFB mais usados no Brasil foi desenvolvido pelo americano, radicado no Brasil, Peter Van Deusen intitulado de *The Learning Curve* (TLC) (RIBAS; RIBAS; MARTINS, 2016a; VAN DEUSEN et al., 2015). A abordagem criada por este inventor possui como foco central a identificação de problemas comportamentais e o direcionamento para mudança. Um dos diferenciais de sua abordagem é de personalizar a avaliação inicial e calcular diversos parâmetros de forma integrada. A TLC é baseada em um protocolo investigativo que compila diversos artigos sobre padrões esperados de atividade elétrica cerebral em humanos (RIBAS et al., 2016a). Além de tratar sintomas, também se utiliza a TLC com a finalidade de aprimorar alguns aspectos psiconeurofisiológicos em atletas (MIRIFAR et al., 2017; NAN et al., 2017).

No âmbito esportivo Edwards (1986) aponta três possíveis utilizações para o biofeedback: reabilitação, controle do estresse e treino de posturas, o que, indiretamente, proporcionaria melhoria no rendimento dos atletas que passam por este tipo de treino. Atualmente, já existem diversas ferramentas que, no esporte, são fruto de pesquisas e que propõem a melhora do desempenho esportivo nas mais diferentes modalidades (MA et al., 2016). Decorrente do desenvolvimento da computação e da tecnologia, torna-se cada vez mais possível conhecer determinados dados do Sistema Nervoso Central (SNC) e do Sistema Nervoso Autônomo (SNA), em tempo real e de forma acessível. Tais técnicas se baseiam em monitorar dados do SNA como a frequência cardíaca, coerência de variabilidade cardíaca, pressão sanguínea, frequência respiratória, a sudorese das mãos e, além disso, fornecem algum tipo de informação (auditiva, visual ou sensorial) com o objetivo de auxiliar a autorregulação neuropsicofisiológica do sujeito (AZARPAIKAN; TORBATI; SOHRABI, 2014). Assim como há o treinamento físico, técnico e tático/estratégico do esporte, o treinamento das habilidades psicológicas, e em específico o treinamento das atividades neuropsicofisiológicas, deve integrar o processo de preparação esportiva (GRUZELIER, 2014).

Em algumas modalidades, as relações entre as atividades elétricas e estados mentais de alto desempenho foram relacionadas a estágios de prática esportiva automatizada. Nos estudos atuais, conhece-se este automatismo como o estado de *flow* que é caracterizado por uma total imersão e envolvimento do sujeito em uma determinada atividade (CSIKSZENTMIHALYI, 2017). Na prática, a hipótese central dos estudos de NFB no esporte sugere que quando um atleta repete a execução de uma determinada atividade, pode-se encontrar alta sincronização da banda Alfa, que são frequências de onda cerebral associadas a estados de maiores níveis de concentração. Esse seria um dos campos cujo treinamento neuropsicofisiológico utilizando NFB pode melhorar, refletindo assim o processamento reduzido da informação cortical aumentando a facilitação para o estado de *flow* (MIRIFAR et al., 2017).

Como proposta de intervenção para melhorar o desempenho de algumas funções cognitivas superiores, como a concentração, autores sugerem o uso de NFB (KAMYIA, 1968). O NFB é uma técnica de treinamento que ensina ao sujeito a autorregulação de padrões de atividade do cérebro através do condicionamento operante (i.e., reforço e punição). A técnica consiste em identificar quais os estados específicos de excitação cortical ótimo e como alcançar tais estados a partir de um *feedback* lúdico baseado na análise dos padrões de atividade neuronal (KAMYIA, 1962). Quando o cérebro do sujeito alcance a frequência hipotetizada como ótima, o feedback é apresentado de maneira fluida e agradável, ao passo que frequências cerebrais fora dos padrões ideais geram respostas interrompidas ou desagradáveis de alguma maneira.

Essa descoberta só foi possível graças ao incremento da tecnologia computacional e dos equipamentos de EEG desenvolvidos por Blundel, que permitiram “medir e correlacionar, em tempo real, o padrão elétrico de atividade cerebral com os respectivos estados subjetivos experimentados” (MASCARO, 2008, p. 5). Partindo de parâmetros de treinamento previamente estabelecidos, o treino com NFB viabiliza a modificação progressiva da atividade neurológica, atuando em áreas e estruturas específicas do cérebro pelo fornecimento de feedback quanto à adequação ou não de sua atividade em curso, levando à sua gradual normalização. Somado a isso, ainda de acordo com Mascaro (2008), o NFB, como treinamento neurológico, além das funções terapêuticas sobre disfunções cerebrais, permite melhorar performance de atletas, uma vez que sua atividade cerebral pode ser modificada para este fim. destacando que, “uma vez que a aprendizagem se deu e a atividade neurológica foi corrigida, essa aquisição torna-se permanente” (MASCARO, 2017 p. 19).

Há diversos cálculos e relações que foram investigadas acerca das diferentes bandas de frequência de ondas cerebrais que permitem avaliar e melhorar sintomas clínico e subclínicos, além de promover a otimização do desempenho cognitivo e esportivo. Por exemplo, há uma relação importante entre ondas theta e beta nas regiões mais frontais do cérebro como descrita por Paul et al (2011) e Bluschke et al (2016). Ambos constataram que há mais ondas theta e menos ondas beta no córtex frontal, entende-se que há lentificação desta área, o que dificultaria a atenção concentrada por maiores períodos. Outro lobo importante no processo de avaliação e otimização é o lobo Parietal. De acordo com Rostami et al. (2012) e Paul et al. (2011), quando os pontos P3, Pz e P4 (do sistema 10/20 que será posteriormente apresentado com detalhes) apresentarem predominância de ondas Beta altas (22-37 Hz), há dificuldade de atletas regular a ansiedade de forma mais efetiva. Além disso, a inibição do beta alto pode levar a mudanças significativas nos níveis de envolvimento autotético. Há também as frequências pico de beta medidas no córtex pré-frontal nos sítios Fp1 e Fp2. Segundo Ribas et al. (2017), tais medidas podem influenciar no controle da ansiedade, produzindo hipervigilância, medo e insegurança. E outra demonstração da importância dos cálculos de dados de EEG é percentual de ondas do Ritmo Sensorio-Motor (do inglês Sensory-Motor Rhythm, SMR) no córtex frontal junto ao sulco central do cérebro. Segundo os estudos de Arns et al. (2008), Paul et al. (2011) e Rostami et al. (2012) para a um bom desempenho na realização de uma tarefa que exige concentração (algo básico no esporte), há

relação direta entra uma maior atividade do nesta área e a predominância do SMR.

Segundo Mirifar et al. (2017), algumas revisões sistemáticas recentes negligenciaram um campo de aplicação interessante, pois o treinamento de NFB pode ser utilizado na área da psicologia esportiva, como anteriormente proposto neste estudo. Para o autor, um dos elementos essenciais para estabilizar e melhorar o desempenho esportivo é promover autorregulação em atletas, já que o NFB em particular, supostamente fornece rotas diretas para promover esta habilidade. Em sua revisão sistemática utilizando a metodologia PRISMA (MOHER et al., 2009), Mirifar et al. (2017) objetivou fornecer uma visão geral dos estudos que avaliam a eficácia dos treinamentos de NFB para melhora de desempenho dos atletas, além de examinar os métodos e resultados desses estudos. Seus resultados mostraram que, em geral, os estudos possuem métodos pouco confiáveis cuja capacidade de generalização é extremamente limitada. Além disso, a melhora de rendimento em si não foi avaliado, apenas modificações nas habilidades cognitivas como atenção ou as funções executivas supondo que o aprimoramento dessas funções levaria a aumento do rendimento do atleta. Outro dado de melhoria indireta apresentado pelos artigos retornados na revisão de Mirifar e colaboradores (2017) é a diferença significativa entre os padrões de frequência cerebral antes e depois dos treinamentos de NFB. Atletas que passam por esse tipo de intervenção tendem a mudar seus padrões basais de frequência cerebral, mas uma crítica a esse tipo de estudo é a ausência de grupo controle ou aleatorização amostral. Portanto, apesar da hipótese de que o treinamento de NFB contribui significativamente para a melhora do desempenho esportivo ao facilitar o estado de flow e promover aumento de funções cognitivas possui algumas evidências (CONDE et al., 2015; KAMYIA, 1968; MA et al., 2016; MASCARO, 2017; MIRIFAR et al., 2017; RIBAS et al., 2016b; VAN DEUSEN et al., 2015), não está claro se de fato há melhora de rendimento nas atividades esportivas ou se essa melhora fica resumida às dimensões psicológicas. Com o objetivo de testar o protocolo TLC de NFB como método de treinamento de habilidades psicológicas para o contexto esportivo, o presente estudo apresenta o caso individual de um atleta de tiro com pistola de ar de dez metros que passou por um treino intensivo e foi acompanhado longitudinalmente.

Métodos

Amostra

Participante

O voluntário é atleta e aluno da Escola Naval, sexo masculino, destro, tem 23 anos, natural do Rio de Janeiro, não possui histórico de doenças psiquiátricas e não fazia uso de nenhum tipo de medicamento durante toda a pesquisa. Ademais, por se tratar de um concurso público bem rigoroso, todos os aspirantes passam por avaliação médica minuciosa incluindo dados cardiológicos, ortopédicos e psiquiátricos. Há também a aplicação de testes psicotécnicos os quais o sujeito da pesquisa passou em todos sem precisar de recursos. Especificamente para esta pesquisa, o atleta assinou o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e recebeu uma breve explanação oral sobre os objetivos do estudo.

Instrumentos

Para avaliação das funções cognitivas foram utilizados os seguintes aplicativos: *Tower of Hanoi version 1.3.0*: avalia a capacidade do indivíduo em resolver problemas num certo período de tempo quantificando em segundos a capacidade do sujeito de lidar com uma sequência de movimentos de cinco discos em três torres distintas seguindo regras pré-estabelecidas (GOEL; GRAFMAN, 1995; ROBINSON; BREWER, 2016); *Speed Color version 2.1.1 Stroop color and word test*: avalia a capacidade de inibir a interferência cognitiva que ocorre quando o processamento de um recurso específico de um determinado estímulo impede o processamento simultâneo de um segundo atributo de estímulo (BENCH, 1993); *Trail making test version 3.0*: teste neuropsicológico de atenção visual e flexibilidade cognitiva (CASSIDY; STRINGER; YAP, 2014); *SequenceTrainer™ developed by Niall K Stevenson (Digit Span)*: mede a capacidade de armazenamento de algarismos utilizando a memória de trabalho (NORRIS; HALL; GATHERCOLE, 2019); Iowa Gambling task – simula a tomada de decisões na vida real por ser amplamente utilizada em pesquisas que envolvem a cognição e emoção (BAKOS, 2010). Todos os aplicativos foram baixados na *App Store* rodados em um Iphone 6S composto pelo Sistema Operacional IOS versão 11.4.1.

A avaliação dos dados de frequência cerebral foi coletada considerando os parâmetros treinados e o que se relata na literatura a respeito das principais frequências de onda relacionadas ao desempenho esportivo. Mais especificamente, os indicadores das avaliações do Eletroencefalograma Quantitativo (QEEG), os pontos aferidos estão descritos de acordo com o sistema de classificação internacional 10/20 como sugerido pela sétima versão do protocolo TLC (TLC7 ou TQ7) conforme estabelecido por Van Deusen et al. (2015). Em relação às frequências, foram escolhidas quatro medições que, de acordo com a literatura (MIRIFAIR, 2017; RIBAS et al., 2016a; 2016b; 2017) são determinantes para considerar aspectos relacionados à ativação, atenção, concentração e ansiedade cujos resultados estão diretamente ligados ao melhor rendimento esportivo: relação ondas teta e ondas beta (theta x beta), prevalência cortical das ondas beta rápidas (Beta Rápido), frequência pico das ondas beta (Freq. Pico Beta) e a porcentagem do ritmo sensório motor (SMR, representado por %SMR). Esse protocolo foi gerado a partir da avaliação do primeiro dia de QEEG no escalpo todo pelo sistema 10/20 (VAN DEUSEN et al., 2015) e está exemplificado na figura 1.

O equipamento de amplificação de sinais elétricos do encéfalo utilizado para avaliação de QEEG e posterior treinamento de NFB através do protocolo TLC7 foi o Q-wiz do fabricante Pocket Neurobotics em conjunto com o *software* Bioexplorer para conversão dos impulsos em ondas e indicadores quantitativos. No protocolo TLC7 ou TQ7, quatro sítios do sistema 10/20 são avaliados entre 10 e 30 minutos em três condições diferentes: olhos fechados, olhos abertos e uma tarefa específica para cada combinação de sítios. Essa avaliação gera uma sugestão do próprio software para o treinamento do sujeito adaptada por Van Deusen (RIBAS et al., 2016a; 2016b; 2017; VAN DEUSEN et al., 2015).

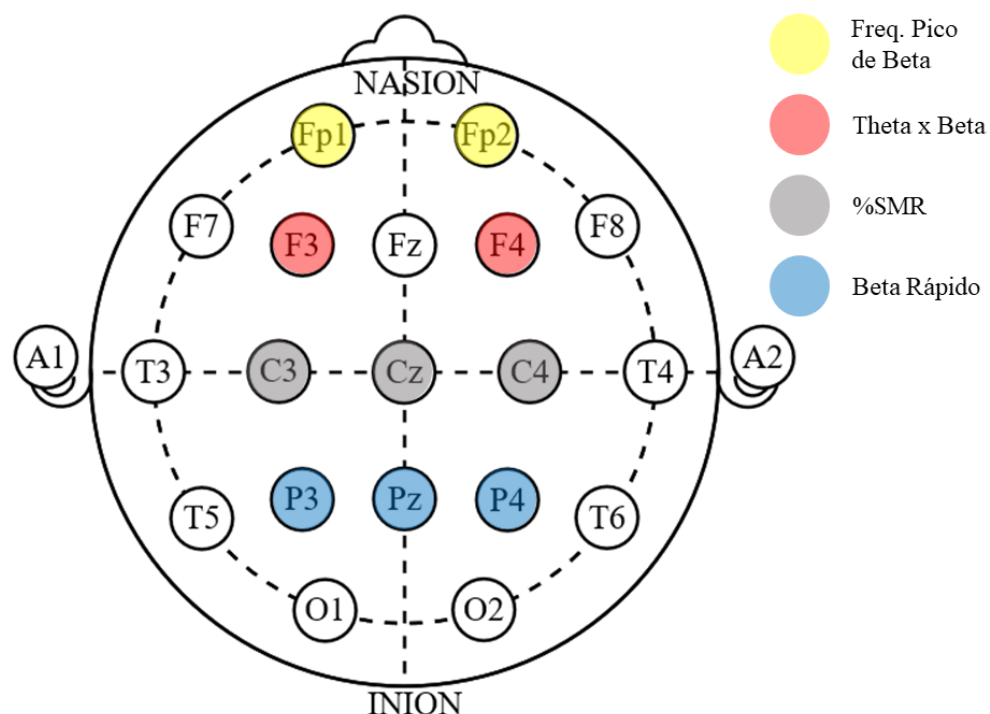


Figura 1: Sistema internacional 10-20 de distribuição de eletrodos no escalpo para uso de EEG. A parte superior da figura corresponde a porção anterior da cabeça. Os eletrodos posicionados em Fp1 e Fp2 foram treinadas ondas pico de Beta; para F3 e F4 foram treinadas a relação theta/beta. Em C3, Cz e C4 foram trabalhadas a %SMR e para P3, Pz e P4 tiveram avaliações de ondas Beta Rápido.

O equipamento utilizado na avaliação de performance esportiva foi uma pistola de pressão Rohm Twinmaster Top de calibre 4,5 mm com munição de chumbinho da marca JSB Exact Diabolo de mesmo calibre. Os alvos utilizados eram de papel da marca Dispropil na forma quadrada com 17 centímetro de todos os lados,

Procedimentos

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Psiconeurofisiologia do Esporte do Centro de Tiro Esportivo da Escola Naval, sempre no período da tarde, iniciando por volta das 15h, horário reservado na rotina dos aspirantes da Escola Naval para a prática de treino físico militar. O projeto foi submetido ao Comitê de Ética da instituição recebendo a aprovação sob o parecer consubstanciado de número 846.814-182. A construção dos resultados é decorrente de três avaliações, são elas: dimensões cognitivas; resultados do EEG e performance esportiva. O acompanhamento longitudinal do participante foi realizado por 11 semanas consecutivas divididas da seguinte maneira: a primeira semana foi usada para avaliação do TLC7 e para habituação do voluntário às tarefas executando os protocolos de maneira simulada; as cinco semanas seguintes foram usadas para avaliação da linha de base na qual todos os instrumentos foram utilizados para coleta de dados; ao final da sessão de avaliação da quinta semana de linha de base, o protocolo de TLC7 sugerido pelo software foi iniciado; as cinco semanas consecutivas foram para avaliação dos processos de intervenção sendo a última sessão de treinamento realizada

antes da avaliação na última semana. A figura 2 apresenta o procedimento longitudinal adotado.

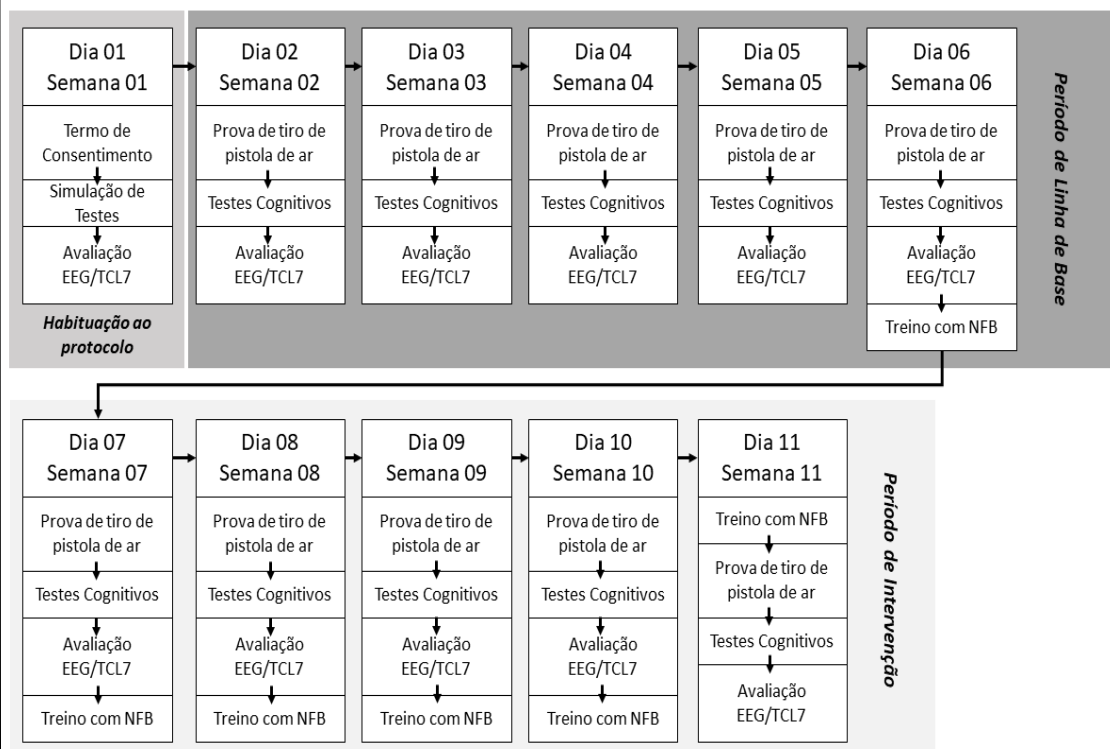


Figura 2: Apresentação do fluxograma relativo ao procedimento, considerando os dias e semanas separadas pelos períodos distintos do desenho da pesquisa, além das tarefas realizadas. Lembrando que todas as avaliações e intervenções de treinamento de NFB ocorriam no mesmo dia.

Cada encontro era iniciado com a prova de tiro de pistola de ar da distância de dez metros. Essa prova é executada com sessenta disparos em um alvo quadrado de medida de dezessete centímetros em todos os lados e dividido em áreas de pontuação circulares concêntricas. A pontuação é decrescente para a margem, tendo o centro do alvo onze milímetros e meio de diâmetro e o acerto nessa área vale dez pontos. Em seguida havia a apresentação das avaliações cognitivas na seguinte ordem: Torre de Hanoi, Teste de Stroop, Teste de Trilhas versão A e B, respectivamente, Span de Dígitos e o *Iowa Gambling Task*. Ao fim da avaliação da performance, se iniciavam as avaliações de EEG com o método TCL7/TQ7 (VAN DEUSEN et al., 2015) e, após, os treinamentos de NFB quando nos períodos de intervenção.

Análise de Dados

Os dados das tarefas simuladas da primeira semana foram descartados, com exceção da avaliação do método TLC7 que foi usado pelo software para desenhar o protocolo de treinamento de NFB a ser adotado. As avaliações foram separadas em dois momentos: as cinco primeiras semanas para linha de base e identificação de possível efeito de aprendizagem da tarefa (COLLIE et al., 2003; GABLER et al., 2011) e depois as cinco semanas de intervenção para identificar o efeito do treinamento de NFB. Para cada grupo de 5 semanas foram inicialmente calculados médias e desvios-padrão (DP).

Para gerar médias das amplitudes dos ritmos de ondas cerebrais, a transformação de Fourier foi adotada e a média aritmética dos picos de amplitude foram usados para comparação nas 11 avaliações. O desenvolvimento de uma linha de base longitudinal e de um período de avaliação também longitudinal obedecem às sugestões da metodologia *n-de-1* ou *single subject design* (GABLER et al., 2011) usada para quantificar o efeito de intervenções em um único sujeito. Após os cálculos das médias e DP, o teste *t-de-student* foi adotado para compará-las, incluindo o cálculo do tamanho do efeito através do *d* de Cohen e o poder do teste. O valor de significância para o *p*-valor adotado nesse estudo foi o de $p < 0,05$ e a interpretação do *d* de Cohen seguiu a regra de ouro para avaliação do tamanho do efeito: entre 0,20 e 0,50 o efeito é pequeno, entre 0,50 e 0,80 o efeito é médio e acima de 0,80 o efeito é grande. Em relação ao poder do teste, que diz respeito à capacidade de generalização dos resultados, valores aceitáveis são acima de 0,80.

Resultados

Em relação ao desempenho cognitivo, apenas o número de movimentos necessários para resolver o teste de Torre de Hanoi que avalia resolução de problemas caiu de maneira estatisticamente significativa na comparação entre linha de base e período de intervenção. Quanto menor o número de movimentos, mais eficaz o sujeito é na tarefa e, portanto, quando há evolução na capacidade de realizar este teste, os números de movimento caem. As demais tarefas cognitivas não apresentaram melhora com o treinamento de NFB.

Os resultados da média da linha de base do número de movimentos necessários para completar a tarefa do teste de Torre de Hanoi foi de 60 movimentos (DP=6 movimentos) ao passo que a média do período de intervenção foi de 44 movimentos (DP=7 movimentos). O teste *t-de-student* que comparou a diferença entre a linha de base e a intervenção deu resultado significativo para $t(9)=2,07$; $p=0,03$; com tamanho de efeito de $d=2,45$; e poder do teste de 0,97. Em relação ao tempo gasto para realizar o teste de Torre de Hanoi, a média na linha de base foi de 155 segundos (DP=32 s.) ao passo que a média do período de intervenção foi de 98 segundos (DP=13 s.). A diferença entre linha de base e intervenção não acompanhou o resultado do número de movimentos, tendendo para uma diferença não-significativa para $t(9)=1,97$; $p=0,40$; com tamanho de efeito de 2,33; mas poder do teste de 0,96. Apesar de não-significativo, o tamanho do efeito de não-significância foi alto. No teste de stroop, o escore da linha de base foi de 33 pontos (DP=2,78) ao passo que a média do período de intervenção foi de 32 (DP=3,41). A diferença também foi considerada não-significativa para $t(9)=0,27$; $p=0,40$; com tamanho de efeito de 0; e poder do teste de 0,60. No teste de trilhas, a versão A apresentou tempo médio de 37 segundos (DP=4,73 s.) na linha de base e 42 segundos (DP=3,79 s.) para o período de intervenção. A diferença entre linha de base e intervenção foi não-significativa para $t(9)=0,99$; $p=0,17$; com tamanho de efeito de 1,17; e poder do teste de 0,83. Para a versão B do teste de trilhas, o tempo média da linha de base foi de 54 segundos (DP=7,67 s.), ao passo que a média do período de intervenção foi de 55 segundos (DP=8,40 s.). O teste *t-de-student* deu resultado não-significativo para $t(9)=0,11$; $p=0,46$; com tamanho de efeito de 0,12; e poder do teste de 0,54.

Em relação ao *span* de dígitos, a média da linha de base foi de 7 dígitos retornados ($DP=0,31$), ao passo que a média do período de intervenção também foi de 7 ($DP=0,52$). O teste *t* revelou diferença não-significativa para $t(9)=0,348$; $p=0,95$, com tamanho de efeito 0 e poder do teste de 0,35. Já em relação à pontuação para recordar os algarismos em ordem inversa, a média na linha de base foi de 7 ($DP=0,82$), ao passo que a média do período de intervenção foi de 8 ($DP=0,52$). Apesar do aparente crescimento, a diferença foi não significativa para $t(9)=1,24$; $p=0,12$; com tamanho de efeito de 1,46; e poder do teste de 0,88. Por fim, o escore final do Iowa Gambling task revelou uma média na linha de base de 13,3 ($DP=2,50$), em detrimento à média do período de intervenção foi de 13,8 ($DP=3,63$). Mais uma vez os resultados foram não-significativos para $t(9)=0,14$; $p=0,45$; com tamanho de efeito de 0,16; e poder do teste de 0,55. Na figura 3, os resultados comparativos entre linha de base e intervenção para a única dimensão cognitiva que deu diferença significativa: número de movimentos necessários para executar o teste Torre de Hanoi.

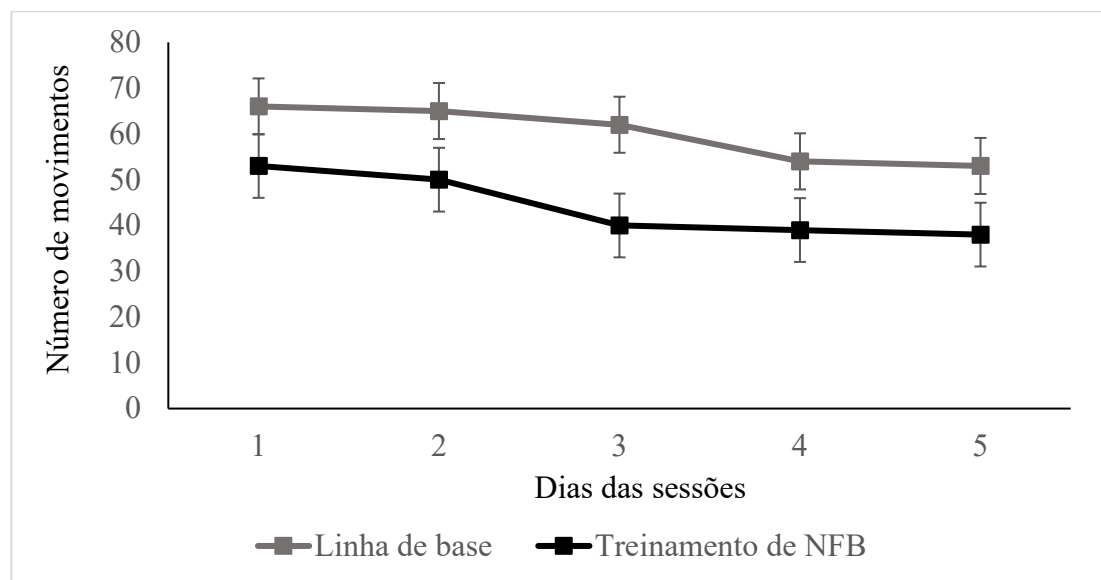


Figura 3: Número total de movimentos no teste de Torre de Hanoi ao longo das cinco sessões de linha de base e do treinamento de NFB. As barras de erro correspondem aos desvios-padrão para cada grupo de sessões. Os grupos de sessões, quando comparados, apresentaram diferença significativa, mostrando efeito estatístico. A queda comparativa entre linha de base e treinamento de NFB mostra o aumento da eficiência do participante nessa tarefa.

Avaliação e comparação do QEEG

No Quadro 1, a evolução dos sítios, suas respectivas bandas de frequência que foram treinadas de acordo com as recomendações do *software* TQ7 e o resultado obtido nessas avaliações por cada sessão. As comparações ocorreram para cada sítio e cada frequência de onda. Começando pelo treinamento do lobo frontal, a razão theta/beta em F3 apresentou média da linha de base foi de 2,27 ($DP=0,25$), ao passo que a média do período de intervenção foi de 2,18 ($DP=0,86$). O teste *t*-de-student revelou diferença não significativa para $t(9)=0,12$; $p=0,45$; com tamanho de efeito de 0,14; e poder do teste de 0,57. Já para F4, essa mesma relação (razão theta/beta) teve média da linha de base de 1,84 ($DP=0,25$), ao passo que a média do período

de intervenção foi de 1,80 (DP=0,53). A diferença entre linha de base e intervenção foi não significativa para $t(9)=0,09$; $p=0,46$; com tamanho de efeito de 0,11; e poder do teste de 0,54.

	03/10/2018	11/out	17/out	24/out	01/nov	07/nov	16/nov	29/nov	10/dez	13/dez	17/dez	07/fev
Avaliação EEG	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Theta x Beta F3	2,02	2,06	2,34	2,25	2,7	2,22	3,37	2,45	1	1,92	2,14	2,21
Theta x Beta F4	1,69	1,45	2,15	2,01	1,96	1,8	2,32	1,91	0,9	1,99	1,86	1,8
Beta Rapido P3	12,6	12,8	12,3	11,3	11,5	10,8	11,2	10,6	10,5	10,5	10,3	10,3
Beta Rapido Pz	10,2	10,3	9,5	9,4	8,9	9,2	11,1	9,3	9	9,3	9	8,7
Beta Rapido P4	12,5	12,8	11,9	10,8	11	10,6	11,2	10,2	10,5	9,4	9,4	10,7
Freq Pico Beta FP1	20,61	21,42	20,39	21,39	22,1	19,9	21,1	20,9	20,8	20,6	20,8	20,9
Freq Pico Beta FP2	23,82	20,73	20,83	20,73	22,1	21,8	22,4	21,3	21,4	20,7	21,2	20,1
%SMR OA C3	11,2	9,8%	9,0%	10,80%	10%	10,90%	10,20%	11,00%	8,8%	10,10%	9,2%	10,3%
%SMR OA CZ	8,8%	8,3%	8,0%	7,7%	9,0%	8,6%	7,2%	9,0%	8,9%	9,7%	10,4%	10,0%
%SMR AO C4	10,3	9,4%	9,7%	10%	10,30%	8,2%	8,8%	9,0%	8,9%	10,30%	9,8%	8,9%

Quadro 1: Resultados da avaliação de EEG em seus respectivos sites e frequência de onda. Nota-se que os parâmetros que estão em vermelho são considerados muito altos de acordo com os critérios do TLC7 (Ribas et al., 2017), os grifados em azul são identificados como muito baixos e os que não estão coloridos encontra-se dentro da faixa considerada adequada. Todos esses critérios de alto e baixo foram desenvolvidos a partir dos dados normativos desenvolvidos por Peter Van Deusen (Ribas et al., 2016a; 2016b; 2017).

Em relação ao lobo Parietal que teve treinamento e avaliação de Beta Rápido, em P3, as ondas betas atingiram a média de 11,88 (DP=0,80) na linha de base e no período de intervenção foi de 10,62 (DP=0,34). A diferença entre os grupos de sessões foi não-significativa para $t(9)=1,74$; $p=0,06$ com tamanho de efeito de 2,07 e poder do teste de 0,94. Em Pz, as medidas da linha de base foram 9,58 (DP=0,56) e na intervenção 9,54 (DP=0,89); a diferença entre linha de base e intervenção foi não significativa para $t(9)=0,05$; $p=0,48$ com tamanho de efeito $d=0,54$ e poder do teste de 0,52. Por fim, em P4, medidas da linha de base foram 11,60 (DP=0,93) e na intervenção 10,14 (DP=0,77) não havendo diferença significativa para $t(9)=1,45$; $p=0,90$ com tamanho de efeito de 1,71 e poder do teste de 0,91.

Em relação os dados do córtex pré-frontal, a frequência pico de beta medida em Fp1 teve a média da linha de base de 20,97 (DP=0,81), ao passo que a média do período de intervenção foi de 20,84 (DP=0,18); a diferença entre a linha de base e a intervenção foi não significativa para $t(9)=0,18$; $p=0,43$ com tamanho de efeito de 0,22 e poder do teste de 0,57. Em Fp2, a média do grupo de sessões da linha de base foi de 21,67 (DP=1,21), ao passo que a média do período de intervenção foi de 21,4 (DP=0,62); a diferença entre linha de base e intervenção também foi considerada não significativa para $t(9)=0,24$; $p=0,41$ com tamanho de efeito de 0,28 e poder do teste de 0,59.

Por fim, em relação ao %SMR medido em C3, a média da linha de base foi de 10,28% (DP=0,83), ao passo que a média do período de intervenção foi de 9,86% (DP=0,87) apresentando diferença não-significativa para $t(9)=0,42$; $p=0,34$ com tamanho de efeito de 0,49 e poder do teste de 0,66. Em Cz, a média da linha de base foi 8,4% (DP=0,48), ao passo que a média do período de intervenção foi de 9,04% (DP=1,19). Para Cz, a diferença

entre linha de base e intervenção foi não-significativa para $t(9)=0,56$; $p=0,30$ com tamanho de efeito de 0,66 e poder do teste de 0,70. Por fim, em C4, a média da linha de base foi de 9,65% (DP=0,79), em detrimento à média do período de intervenção foi de 9,36% (DP=0,66) com diferença estatística não-significativa para $t(9)=0,34$; $p=0,37$ com tamanho de efeito de 0,40 e poder do teste de 0,63.

Resultados do rendimento esportivo

Os resultados na tarefa de competição simulada de tiro de pistola de ar de dez metros são apresentados na Figura 4 em termos de linha de base e durante as sessões de treinando de NFB. Enquanto a comparação entre a quinta sessão de linha de base (568,5 pontos) com a última sessão de NFB (579 pontos) somando ($568,5+3,5=572$) e subtraindo do desvio-padrão ($579-5,4=573,6$) podem sugerir melhora no desempenho (de 572 na linha de base para 573,6 pós-intervenção), quando os dados são colocados junto aos grupos de sessões, se tornam não-significativos.

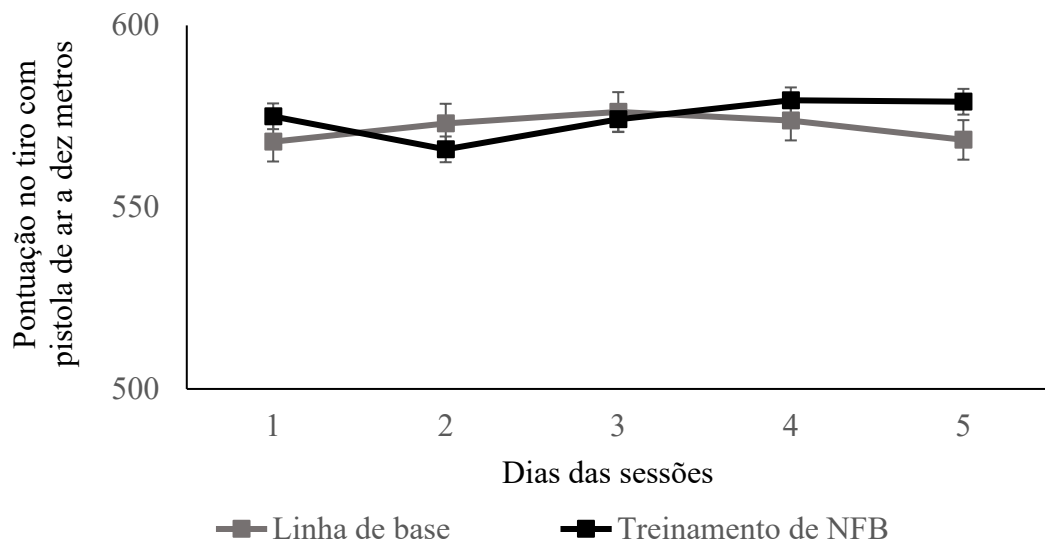


Figura 4: Pontuação na tarefa de competição simulada de pistola de ar de dez metros ao longo das cinco sessões de linha de base e do treinamento de NFB. As barras de erro correspondem aos desvios-padrão para cada grupo de sessões.

A média dos resultados obtidos na tarefa de tiro pelo participante na linha de base foi de 570 pontos (DP=5,87), ao passo que a média do período de intervenção foi de 574 pontos (DP=4,84). A análise estatística revelou que a diferença entre a linha de base e o período de treinamento com NFB foi não-significativa para $t(9)=0,63$; $p=0,27$ com tamanho de efeito de 0,74 e poder do teste de 0,73.

Discussão

Os resultados deste estudo de caso revelaram que as intervenções com treino de NFB tiveram influência na capacidade do participante de resolver problemas. Ele foi capaz de diminuir significativamente o número de movimentos necessários para finalizar com sucesso o teste de Torre de Hanoi.

De fato, a diminuição dos movimentos aponta para melhora do desempenho cognitivo em relação à tarefa de resolução de problemas (GOEL; GRAFMAN, 1995; ROBINSON; BREWER, 2016), mostrando otimização da circuitaria neural envolvida com o desempenho de sua capacidade psicológica, conforme sugerido por Azarpaikan et al. (2014). A principal hipótese explicativa para o fenômeno é que a porcentagem do ritmo sensório-motor trabalhado no lobo frontal pelo treinamento de NFB parece ter promovido essa modificação na banda de frequência neural do córtex do participante (BLUSCHKE et al., 2016; PAUL et al., 2011). Arns et al. (2008), assim como Mirafar et al. (2017) apontam que as evidências mais consolidadas na literatura científica para a otimização do desempenho cognitivo e atlético é o treino do SMR com NFB. Nesse sentido, os resultados da presente pesquisa coadunam com achados anteriores semelhantes.

Apesar de outras dimensões cognitivas não apresentarem melhor desempenho no participante, é importante sinalizar que as tarefas de memória de trabalho (NORRIS et al., 2019), flexibilidade cognitiva (CASSIDY et al., 2014) e inibição comportamental (BENCH, 1993) são funções denominadas executivas de baixa ordem. Isso significa que essas dimensões psicológicas são responsáveis pela gestão dos recursos mentais numa instância mais básica e, portanto, são menos afetadas por pensamentos complexos e pelo recrutamento de diversos recursos como ocorre na resolução de problemas (GOEL; GRAFMAN, 1995). Nesse sentido, é possível dizer que, pelo menos nesse estudo de caso, a %SMR trabalhou e aprimorou uma função de alta complexidade cognitiva (ROBINSON; BREWER, 2016) e que o treinamento dessa banda no córtex pré-frontal ajudou a promover otimização da capacidade mais abstrata do sistema psicológico, como sugerido por Arns et al. (2008).

Por outro lado, nenhuma outra dimensão cognitiva, esportiva ou neural mostrou diferenças significativas. Uma das principais críticas feitas por artigos de revisão sistemáticas de dados de treinamento de NFB é a produção endógena das evidências (CONDE et al., 2015; MA et al., 2016; MIRAFAR et al., 2017). Isso significa que a mesma dimensão e o mesmo método de avaliação são usadas como método de intervenção. Por exemplo, uma tarefa como decorar uma sequência de dígitos e lembrá-la logo depois pode avaliar a memória de curto-prazo (NORRIS et al., 2019), mas se o mesmo grupo de números é apresentado repetidamente toda semana, sem haver qualquer alteração no estímulo, outro fenômeno ocorre: o efeito da aprendizagem da tarefa (COLLIE et al., 2003) que corresponde ao fato da pessoa decorar como se executa a tarefa, então, a melhora do desempenho não se deu por uma intervenção específica, mas pelo fato da pessoa ficar repetindo sempre a mesma coisa. Esse fenômeno parece ser o mesmo que ocorre em relação aos treinamentos de NFB. Por exemplo, no método TLC7, a avaliação é feita pelo software, o próprio software diz quais são os modos e sítios do encéfalo que devem ser treinados e, ao final, é o mesmo software que conduz o treinamento (RIBAS et al., 2017; VAN DEUSEN et al., 2015). Se o presente estudo usasse como evidência tão somente a primeira e a última avaliações e os critérios usados pelo TQ7 das faixas de frequência de ondas aceitáveis que estão pré-estabelecidos pelo programa de computador e presentes representados em cores diferentes no Quadro 1, provavelmente se chegaria à conclusão e que as evidências estão a favor de mudanças significativas nas bandas de frequência treinadas. Enquanto na primeira avaliação, seis sítios apresentavam

frequências de onda consideradas altas (na cor vermelha), na última semana de avaliação, apenas três permaneciam vermelhas, uma melhora de 50%.

Estudos de caso geralmente são problemáticos por sua baixa capacidade de generalização. Por isso, desenhos metodológicos rigorosos foram desenvolvidos para controlar possíveis distorções nas análises. Esse é o caso do método *n-de-1* ou *single subject design* (GABLER et al., 2011) adotado nesse artigo. A ideia de adotar um desenho longitudinal para esse estudo de caso foi a de diminuir as críticas feitas por Ma et al. (2016) e Mirifar et al. (2017) acerca da produção endógena de resultados significativos e fazer com que o impacto do efeito da aprendizagem (COLLIE et al., 2003) pudesse ser acompanhado. Quando um método mais rigoroso foi adotado, apesar de se tratar de um estudo de caso, os resultados que aparentemente seria diferentes, mostraram que sua variância impedia diferenças estatisticamente significativas e, portanto, o erro experimental pode explicar as diferenças de médias muito mais que qualquer possível ganho real em termos de desempenho, seja cognitivo, esportivo ou neural.

Considerações finais

A despeito dos resultados negativos do estudo de caso, o treinamento de seis sessões de cinco horas é pouco usual na literatural (NAN et al., 2017; RIBAS et al., 2017), isso, porque o volume de horas sob a mesma intervenção de treinamento de NFB pode gerar um efeito de fadiga ou esgotamento dos recursos do SNC. Logo, o modelo adotado de intervenção intensiva por não ter sido o mais adequado para gerar melhoria na performance esportiva. Apesar de haver propostas parecidas na literatura para aplicações de treinos utilizando a técnica de NFB de forma intensiva (NAN et al. 2017), a maioria dos estudos recomenda que haja um intervalo entre as sessões para que o cérebro passe por um processo de *recovery* da fadiga do treinamento (MIRIFAR et al, 2017). Há que se considerar a quantidade de sessões e sua duração em sujeitos com diferentes níveis de especialização e experiência esportiva (MA et al., 2016; MIRIFAR et al., 2017): um atleta especialista com experiência em uma determinada prática esportiva, exigiria menos sessões de intervenção quando comparado a um atleta amador, por exemplo. Outrossim, uma outra sugestão seria distinguir diferentes momentos da prática esportiva como por exemplo uma fase de preparação e a da competição. A ideia seria integrar o treinamento utilizando a técnica de NFB à prática regular em rotinas de treinamento, ou durante o aquecimento para a competição (GRUZELIER, 2014). No entanto, nesse estudo de caso, para esse atleta em particular, não é possível afirmar se o treinamento adotado pelo método TLC7 de maneira intensiva possa ter trazido qualquer benefício para além da melhora da capacidade de racionalizar e resolver problemas.

Referências

- ARNS, M.; KLEINNIJENHUIS, M.; FALLAHPOUR, K.; BRETELER, R. 2008. Golf performance enhancement and real life neurofeedback training using personalized event locked EEG profiles. *Journal of Neurotherapy*, n. 11, p. 11-18, 2008.
- AZARPAIKAN, A.; TORBATI, H. T.; SOHRABI, M. NFB and physical balance in Parkinson's patients. *Gait & Posture*, [s.l.], v. 40, n. 1, p. 177-181, 2014. ISSN: 0966-6362, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.03.179>.
- BAKOS, D. S. et al. A cultural study on decision making: Performance differences on the Iowa Gambling Task between selected groups of Brazilians and Americans. *Psychology & Neuroscience*, v. 3, n. 1, p. 101, 2010.
- BENCH, C. I. J. et al. Investigations of the functional anatomy of attention using the Stroop test. *Neuropsychologia*, v. 31, n. 9, p. 907-922, 1993.
- BLUSCHKE, A.; ROESSNER, V.; BESTE, C. Editorial Perspective: How to optimise frequency band neurofeedback for ADHD. *Journal Child Psychol Psychiatry*, v. 57, n. 4, p. 457-461, abr. 2016. doi: 10.1111/jcpp.12521.
- CASSIDY, Bill; STRINGER, Gemma; YAP, Moi Hoon. Mobile Framework for Cognitive Assessment: Trail Making Test and Reaction Time Test. In: *2014 IEEE International Conference on Computer and Information Technology*. IEEE, 2014. p. 700-705.
- COLLIE, A. et al. The effects of practice on the cognitive test performance of neurologically normal individuals assessed at brief test-retest intervals. *Journal of the International Neuropsychological Society: JINS*, v. 9, n. 3, p. 419, 2003.
- CONDE, E. et al. The Effects of EEG Neurofeedback Training on the Behavioral Complaints of Soccer Athletes-A Case Study. In: *International Congress on Sport Sciences Research and Technology Support*. SCITEPRESS, 2015. p. 132-138.
- CSIKSZENTMIHALYI, M. Finding flow. *Hachette Audio*, 2017.
- VAN DEUSEN, P.; CASTAGINI, G. A.; PAVAN, M. S.; TULIO, V.W. *Treinamento em Neurofeedback*. Apostila Curso Básico. Itajaí, 2015.
- EDWARDS, J. A. Biofeedback and sports science: J.H. Sandweiss and S.L. Wolf (Eds.), (Plenum Press, New York) pp. xviii + 20 (Book Review). *Biological Psychology*, [s.l.], v. 23, n. 3, p. 317-320, 1986. ISSN: 0301-0511, DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/03010511\(86\)90009-8](http://dx.doi.org/10.1016/03010511(86)90009-8).
- GABLER, N. B.; DUAN, N.; VOHRA, S.; KRAVITZ, R. L. N-of-1 trials in the medical literature: a systematic review. *Medical care*, p. 761-768, 2011.
- GOEL, V.; GRAFMAN, J. Are the frontal lobes implicated in "planning" functions? Interpreting data from the Tower of Hanoi. *Neuropsychologia*, v. 33, n. 5, p. 623-642, 1995.
- KAMIYA, J. *Conditioned discrimination of the EEG alpha rhythm in humans*. Western Psychological Association, San Francisco, CA, [s.l.], 1962.
- KAMIYA, J. Conscious control of brain waves. *Psychol Today*, n. 1, p. 56-60, 1968.

MA, C. Z.-H. et al. Balance Improvement Effects of Biofeedback Systems with State-of-the-Art Wearable Sensors: A Systematic Review. *Sensors*, Basel, Switzerland, v. 16, n. 4, p. 434, 2016. ISSN: 1424-8220 (Electronic), DOI: 10.3390/s16040434.

MASCARO, L. *Arquitetura Do Eu*, a. [s.l.]: Elsevier Brasil, 2008. ISBN: 8535220690.

_____. *Para que Medicação?: O Treinamento Neurológico por Neurofeedback Voltado ao Tratamento Não Medicamentoso de Depressão, Ansiedade e Pânico, Déficit de Atenção, Dislexia*, Au. Elsevier Brasil, 2017.

MENEZES, R.; KACKER, P.; MUKUNDAN, C. R. Neurofeedback & Memory Functioning: Rehabilitation & Enhancement. *The International Journal of Indian Psychology*, 2017.

MIRIFAR, A.; BECKMANN, J.; EHRLENSPIEL, F. Neurofeedback as supplementary training for optimizing athletes' performance: A systematic review with implications for future research. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, n. 75, p. 419-432., 2017.

MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and metaanalyses: the PRISMA statement. *PLoS medicine*, [s.l.], v. 6, no 7, p. e1000097, 2009. ISSN: 1549-1676.

NAN, W., WAN, F., CHANG, L., PUN, S. H., VAI, M. I., & ROSA, A. (2017). An exploratory study of intensive neurofeedback training for schizophrenia. *Behavioural neurology*, 2017.

NORRIS, D. G.; HALL, J.; GATHERCOLE, S. E. Can short-term memory be trained?. *Memory & cognition*, v. 47, n. 5, p. 1012-1023, 2019.

PAUL, M.; GANESAN, S.; SANDHU, J. S., Effect of Sensory Motor Rhythm Neurofeedback on Psychophysiological, Electro-encephalographic Measures and Performance of Archery Players. *Ibnosina Journal of Medicine and Biomedical Sciences*, n. 4, p. 32-39, 2011.

RIBAS, V. R.; RIBAS, R. M. G.; MARTINS, H. A. D. L. The learning curve in neurofeedback of Peter Van Deusen: a review article. *Dement Neuropsychol*, v. 10, n. 2, 98-103, 2016.

_____; RIBAS, R. M. G.; OLIVEIRA, D. C. L. de; REGIS, C. L. S.; NASCIMENTO FILHO, P. C. do; SALES, R. S. R. The Functioning of the Brain Trained 1y Neurofeedback with Behavioral Techniques from a Learning Curve Perspective. *J Psychol Psychother Res*, v. 3, n. 2, 12-19, 2016.

_____; SOUZA, M. V. de; TULIO, V. W.; PAVAN, M. S.; AZZOLIN, G.; RIBAS, R. M. G. Treatment of Depression with Quantitative Electroencephalography (QEEG) of the TQ-7 Neuro-feedback System Increases the Level of Attention of Patients. *J Neurol Disord*, v. 5, n. 340, p. 2, 2017.

ROBINSON, S. J.; BREWER, G. Performance on the traditional and the touch screen, tablet versions of the Corsi Block and the Tower of Hanoi tasks. *Computers in Human Behavior*, v. 60, p. 29-34, 2016.

ROSTAMI, R.; SADEGHI, H.; KARAMI, K.A.; ABADI, M.N.; SALAMATI, P. 2012. The Effects of Neurofeedback on the Improvement of Rifle Shooters' Performance. *Journal of Neurotherapy*, n. 16, p. 264-269, 2012.

Sobre o autor

Leonardo Rosa Habib

Programa de Pós-Graduação em Psicologia Social, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

Gabrielle Barcelos

Instituto de Psicologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

Adriana Lacerda

Departamento de Psicologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

Raquel Melo

Programa de Pós-Graduação em Psicologia Social, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

Paulo Ribeiro

Programa de Pós-Graduação em Psicologia Social, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

Alberto Filgueiras

School of Natural, Social and Sport Sciences, University of Gloucestershire, Gloucestershire, UK

Contato

ENDEREÇO PARA CORRESPONDÊNCIA

Leonardo Rosa Habib

UERJ - Rua São Francisco Xavier, 524, Sala F10.015, Maracanã, Rio de Janeiro - RJ - CEP 20550-090

TELEFONE

(021) 2334-0234

E-MAIL

leohabib@gmail.com