

REALIDADE VIRTUAL IMERSIVA NA APRENDIZAGEM MOTORA IMPLÍCITA EM ADULTOS JOVENS

Universidade Presbiteriana Mackenzie

Coordenadoria de Fomento à Pesquisa - Pró-reitoria de Pesquisa e
Pós-Graduação

Bárbara Ricci de Souza ¹
Apoio: *PIBIC Mackenzie*

Marília Lira da Silveira Coêlho ²

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde (CCBS) ^{1;2}

<10403198@mackenzista.com.br>
<marilialira.coelho@mackenzie.br>

RESUMO

Introdução: A aprendizagem motora implícita é um processo fundamental para aquisição de habilidades, podendo ser investigada pela *Serial Reaction Time Task* (SRTT). Estratégias como a prática repetida e a realidade virtual (RV) têm sido exploradas para potencializar esse processo. **Objetivo:** Investigar os efeitos da prática repetida na SRTT e da exposição à RV sobre a aprendizagem implícita de sequências, considerando efeitos agudos (Pré–Pós), crônicos (retenção após 48h) e de reaprendizagem. **Método:** Trinta e cinco participantes saudáveis foram distribuídos em dois grupos: SRTT (n=18) e SRTT+RV (n=17). O desempenho foi avaliado pelo tempo de reação em blocos sequenciais e aleatórios no Dia 1 (Pré e Pós) e no Dia 3 (Pré e Pós). A pontuação foi registrada ao longo de três dias consecutivos de treino de RV. **Resultados:** Houve redução significativa do tempo de reação em nível agudo e crônico, com retenção após 48h e reaprendizagem no terceiro dia. Embora não tenham sido observadas diferenças globais entre grupos, a análise complementar indicou maior ganho agudo sequencial no grupo SRTT no Dia 3, enquanto o grupo SRTT+RV apresentou menor margem de melhora, possivelmente em função de adaptação prévia à tarefa visuomotora. Na RV, observou-se melhora acentuada entre os dois primeiros dias e tendência ao platô no terceiro. **Conclusão:** Tanto a prática repetida quanto à RV favoreceram a aprendizagem implícita e a consolidação motora. A exposição à RV pode antecipar parte das adaptações motoras, configurando-se como ferramenta complementar no treino de habilidades visuomotoras.

Palavras-chave: Realidade Virtual, Aprendizagem Motora Implícita, Realidade Virtual Imersiva, Aprendizagem Motora

ABSTRACT

Introduction: Implicit motor learning is a key process for skill acquisition and can be investigated through the *Serial Reaction Time Task* (SRTT). Strategies such as repeated practice and virtual reality (VR) have been explored to enhance this process. **Objective:** To investigate the effects of repeated practice in the SRTT and exposure to VR on implicit sequence learning, considering acute effects (Pre–Post), chronic effects (retention after 48h), and relearning. **Method:** Thirty-five healthy participants were assigned to two groups: SRTT (n=18) and SRTT+VR (n=17). Performance was assessed by reaction time in sequential and random blocks on Day 1 (Pre and Post) and Day 3 (Pre and Post). VR scores were recorded over three training days. **Results:** Significant reductions in reaction time were observed at both acute and chronic levels, with retention after 48h and evidence of relearning on Day 3. Although no global group differences were found, complementary analysis indicated a greater acute sequential gain on Day 3 in the SRTT group, while the SRTT+VR group showed a smaller

margin of improvement, possibly due to prior visuomotor adaptation. In VR training, there was a marked improvement between Days 1 and 2 and a trend toward a performance plateau on Day. **Conclusion:** Both repeated practice and VR favored implicit learning and motor consolidation. Exposure to VR may anticipate part of the motor adaptations, highlighting its potential as a complementary tool for visuomotor skill training.

Keywords: Virtual Reality, Implicit Motor Learning, Immersive Virtual Reality, Motor Learning

1. INTRODUÇÃO

A aprendizagem motora é um processo complexo que envolve a aquisição e refinamento de habilidades motoras por meio de prática e experiência. Um componente fundamental dessa competência é a aprendizagem motora implícita, que se refere à capacidade do indivíduo de adquirir habilidades motoras sem necessariamente ter consciência dos processos envolvidos (Rohrbach *et al.*, 2019). Esse tipo de aprendizagem é especialmente relevante para a realização eficiente de tarefas cotidianas, otimizando a competência motora e reduzindo o gasto energético.

Para investigar a aprendizagem motora implícita, a tarefa de tempo de reação em série (SRTT), proposta por Nissen e Bullemer (1987), tem sido amplamente utilizada. Nesta tarefa, os participantes respondem a sequências de estímulos de forma rápida e repetitiva, com melhoras no desempenho ao longo do tempo indicando aprendizagem, mesmo sem consciência das sequências (Rivera-Urbina *et al.*, 2022).

A eficiência do movimento é influenciada por diversos fatores, incluindo a formação da representação interna do movimento, a integração sensorial e a capacidade de reação a estímulos cognitivos, como o tempo de reação (Shumway-Cook & Woollacott, 2017; Schmidt & Lee, 2019).

Diversas estratégias são utilizadas para aprimorar o desempenho motor, e as realidades virtuais (RV) têm se destacado como uma ferramenta promissora nesse sentido (Faric *et al.*, 2019). Por meio de ambientes virtuais, os usuários podem praticar tarefas de forma imersiva e receber feedback em tempo real, o que pode contribuir para melhorias na coordenação, velocidade e precisão do movimento (Faric *et al.*, 2019).

Apesar dos avanços, persistem questionamentos sobre o engajamento dos participantes e a eficácia das intervenções em tarefas como o SRTT. Nesse sentido, a integração de tecnologias emergentes, como a realidade virtual imersiva (RVI), pode representar uma estratégia promissora para otimizar a experiência do participante e facilitar a aprendizagem motora (Debarnot *et al.*, 2019; Rivera-Urbina *et al.*, 2022).

A literatura atual ressalta o potencial da RVI para aumentar o engajamento e a motivação, além de facilitar a transferência de habilidades para o mundo real. No entanto, são necessárias mais investigações sobre os efeitos específicos da RVI no desempenho durante o SRTT. Compreender como o treinamento em RV influencia os processos cognitivos e perceptuais envolvidos na aprendizagem motora implícita pode oferecer insights valiosos para o aprimoramento das habilidades motoras complexas (Liao *et al.*, 2020). Dessa forma, faz-se necessário estudos que investiguem o efeito do treino de RVI na aprendizagem de sequência motora implícita pelo SRTT em adultos jovens.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A competência motora, que engloba a habilidade de um indivíduo em realizar gestos motores complexos, controlar movimentos e coordenar ações, é fundamental para o desempenho físico e funcional, visto que essa habilidade abarca não apenas a mobilidade e a manipulação de objetos, mas também o controle motor preciso e a estabilidade postural, cruciais para o sucesso em diversas atividades cotidianas e esportivas (Schmidt & Lee, 2019). Essas habilidades incluem desde tarefas simples, como alcançar um objeto, até movimentos que exigem coordenação motora fina, essenciais para atingir metas motoras precisas e eficientes.

O aprendizado motor faz parte da memória implícita, definida como um conjunto de processos não consciente, associados com a prática e repetição de movimentos. Esse aprendizado leva a mudanças permanentes nas respostas motoras devido às modificações das redes neurais responsáveis pelas respostas motoras, possibilitando um desempenho mais eficaz da tarefa treinada (Debarnot *et al.*, 2019).

A capacidade de adquirir uma nova habilidade, é uma característica fundamental da aprendizagem implícita. Nessa linha, por meio de uma série de padrões sequenciais, a tarefa SRTT, é um exemplo prático utilizado para explorar os processos subjacentes a

uma ampla gama de comportamentos, incluindo os princípios cognitivos e biológicos de aprendizagem e memória (Borich *et al.*, 2022).

De acordo com a teoria proposta por Paul Fitts e Michael Posner (1967), a aprendizagem motora é um processo individual que envolve diferentes fatores e fases, tanto explícitas quanto implícitas, do controle motor (Singh, 2024). Tais fatores incluem o estilo preferencial de aprendizado, os interesses, a personalidade e a capacidade de resolução de problemas dos praticantes. Na fase inicial, os indivíduos usam demonstrações visuais, instruções auditivas e orientação manual para desenvolver um mapa cognitivo da tarefa. Na fase intermediária, o feedback proprioceptivo é essencial para ajustar os movimentos e melhorar a precisão. Na fase final, o controle motor torna-se automático, permitindo a execução fluida da tarefa com mínimo esforço consciente. Essa ordem de fatores não é necessariamente linear e pode se sobrepor em diferentes momentos do processo (Singh, 2024).

A competência motora para realização de tarefas cotidianas envolve as habilidades motoras complexas de um indivíduo em realizar gestos motores sequenciais, sem esforço consciente para realização. Para que essa competência motora seja consolidada, é fundamental a prática repetitiva de uma tarefa, o que promove o aprendizado implícito.

Evidências apontam que os ganhos não se restringem ao desempenho “online”, ocorrendo também em janelas de processamento “offline” ao longo de 12 e 24 horas, períodos nos quais ocorre estabilização e, por vezes, incremento do desempenho, compatíveis com consolidação dependente de sono e vigília (Debarnot *et al.*, 2019).

A RV tem se mostrado uma ferramenta promissora para o aprimoramento da competência motora. Por meio de simulações imersivas e interativas, a RV proporciona um ambiente que pode desafiar e estimular o controle motor de formas inovadoras. Essa prática não apenas ajuda na concentração atencional por meio de objetivos específicos, mas também promove o movimento motor diante dos desafios apresentados, facilitando a aprendizagem motora através de instruções verbais, características das sessões de treinamento e feedback imediato. Este último pode ser essencial para a correção e a consolidação de padrões motores eficazes, enquanto a interatividade e a imersão da RV aumentam a motivação e o empenho, fatores cruciais para a aprendizagem e o aprimoramento motor (Battisti *et al.*, 2022; Kanayama *et al.*, 2021).

Portanto, ao considerar a RVI como estratégia eficiente para aprendizagem motora, faz-se necessário investigar se o treino com o uso de RVI pode facilitar o aprendizado de sequência motora implícita por meio da tarefa SRTT em indivíduos adultos jovens.

3. METODOLOGIA

O presente estudo caracterizou-se como experimental, controlado, aleatorizado e cego, conduzido nas dependências da Clínica Escola do curso de Fisioterapia e no Laboratório de Neurociência Cognitiva e Social da Universidade Presbiteriana Mackenzie (Rua Piauí, 181). A amostra foi composta por 35 indivíduos, selecionados por conveniência a partir de divulgação institucional e em redes sociais (Instagram e WhatsApp). A triagem inicial foi realizada por meio de um questionário eletrônico (Google Forms) contendo informações pessoais, como nome, e-mail e telefone. Os candidatos elegíveis foram posteriormente contatados por e-mail ou WhatsApp para agendamento das sessões presenciais, ocasião em que foram apresentados os procedimentos experimentais e sanadas eventuais dúvidas.

Foram incluídos indivíduos de ambos os sexos, com idades entre 18 e 40 anos, destros, e excluídos aqueles com condições potencialmente interferentes na funcionalidade do membro superior, tais como histórico de cirurgias ortopédicas, artrose avançada, deformidades, bloqueio articular, doenças neurológicas, alterações cognitivas ou dificuldades de compreensão das tarefas.

Os participantes foram alocados aleatoriamente, de forma contrabalançada, em dois grupos principais por meio de randomização realizada no software *random.org*. A ordem das condições foi definida de maneira randomizada e contrabalançada, garantindo equilíbrio entre os grupos. Para assegurar sigilo de alocação, a randomização foi conduzida por um pesquisador que não participou diretamente das coletas de dados.

O Grupo 1 (SRTT) foi composto por 18 indivíduos que realizaram exclusivamente a tarefa *Serial Reaction Time Task* (SRTT) no primeiro e no terceiro dia, com intervalo de 48 horas, possibilitando a análise da consolidação em diferentes janelas temporais.

O Grupo 2 (SRTT + RV) foi composto por 17 participantes submetidos à SRTT associada ao treino em realidade virtual (RV), realizado em três dias consecutivos, com sessões de aproximadamente quarenta e cinco minutos de duração. A intervenção em RV utilizou o jogo *Beat Saber*, que demanda integração visuomotora, tempo de reação rápido e coordenação motora.

Essa divisão foi fundamentada em evidências de que a consolidação motora pode ocorrer em diferentes intervalos temporais, tanto em curtos atrasos (~12 h), quanto em períodos mais longos (~48 h), frequentemente associados ao sono (Debarnot et al., 2019; Rivera-Urbina; Molero-Chamizo; Nitsche, 2022).

Durante o procedimento, o participante foi posicionado em uma cadeira (ajustada conforme altura) confortavelmente, com os braços apoiados sobre a mesa e os pés apoiados no chão. Preenchidas as fichas de caracterização da amostra, a avaliação inicial e final ocorria por meio da tarefa SRTT e da pontuação do jogo. O SRTT foi realizado no primeiro e no último dia de coleta, antes e depois da prática com RV.

Para a RV, os óculos de *Virtual Reality* foram ajustados no rosto do participante, o qual mantinha-se em posição ortostática e de frente para o sensor do equipamento PS4. Dois controles foram entregues nas mãos do participante, para captação dos movimentos das mãos. Após as devidas instruções, o jogo *Beat Saber* era iniciado e a partida tinha duração de quinze minutos. Ao fim da partida, os pontos foram contabilizados e o participante repetiu o SRTT.

3.2 INSTRUMENTOS

Para a coleta de dados demográficos e identificação dos participantes, aplicou-se uma ficha de caracterização da amostra, na qual constavam campos para registro de nome, idade, sexo, e-mail, telefone, data de participação no procedimento e um código individual de identificação.

O desempenho na Tarefa de Tempo de Reação Serial (SRTT), utilizada para mensurar aprendizagem motora implícita, foi registrado por meio do software *E-Prime*. Na tela do computador, eram exibidas quatro linhas horizontais correspondentes às teclas de resposta. Para execução da tarefa, os participantes foram posicionados confortavelmente em cadeira ajustada à altura individual, com apoio para membros superiores e pés firmemente apoiados no solo. A SRTT foi aplicada no primeiro e no último dia de coleta, antes e após a intervenção com RV. Empregou-se, portanto, uma caixa de resposta, contendo quatro teclas (A, X, M, L) alinhadas anatomicamente. Os participantes foram instruídos a pressionar a tecla correta, com o dedo correspondente, tão rápido e precisamente quanto possível, sempre que o símbolo "X" aparecesse na caixa associada. Após cada resposta, correta ou incorreta, um novo estímulo surgia após 500 ms. O protocolo incluiu oito blocos de 120 tentativas cada; os blocos 1 e 6

apresentavam sequências aleatórias, enquanto os demais seguiam padrões repetitivos. (FIGURA 01).

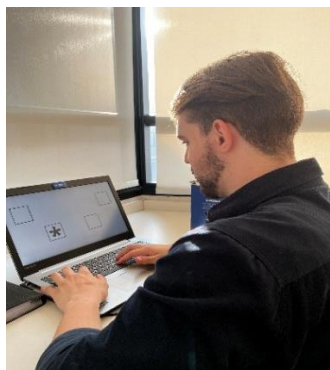


Figura 01. Representação real do procedimento da SRTT. Fonte: Acervo Pessoal (Ago, 2024) .

A intervenção com realidade virtual foi realizada utilizando o console *PlayStation 4* (PS4), lançado pela Sony Group Corporation em 2013, com capacidade para reprodução de imagens em resolução 4K e suporte a sistemas de detecção de movimento. O sistema foi composto pelo *PlayStation VR* (modelo CUH-ZVR1/2), cujo *headset* incorpora sensores internos: acelerômetro e giroscópio, responsáveis por detectar a orientação e a inclinação da cabeça do usuário durante a interação imersiva (Sony, 2023). Essa configuração foi complementada pela *PlayStation Camera*, que rastreia a posição de *LEDs* presentes no headset e nos controladores, permitindo um mapeamento preciso dos movimentos no espaço tridimensional. (FIGURA 02)



Figura 02. Representação real do procedimento da RV. Fonte: Acervo Pessoal (Mar, 2025) .

Os participantes interagiram por meio dos controladores *PlayStation Move*, que possuem sensores inerciais de alta precisão (acelerômetro de três eixos, giroscópio de três eixos e magnetômetro), possibilitando a captação detalhada da posição e orientação das mãos no ambiente virtual. O jogo utilizado foi *Beat Saber*, compatível com a plataforma, no qual cada participante, individualmente, permanecia em posição ortostática, frente ao sensor, utilizando o headset e segurando os controladores para

executar cortes em cubos coloridos que surgiam à frente, sincronizados com o ritmo de músicas previamente selecionadas.

O protocolo experimental foi conduzido em conformidade com a Resolução nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde e com os preceitos da Declaração de Helsinki (1964) e suas emendas em Tóquio (1975), Veneza (1983) e Hong Kong (1989). Todos os voluntários assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, em duas vias, uma entregue ao participante e outra retida pelo pesquisador responsável.

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas foram conduzidas no software Jamovi. Inicialmente, a caracterização da amostra foi realizada por meio de estatística descritiva (média, desvio-padrão, valores mínimo e máximo), com teste de normalidade de Shapiro–Wilk para a variável idade. Para o desempenho no SRTT, foi conduzida uma ANOVA mista de medidas repetidas com os fatores intra-sujeitos Dia (1 vs 3), Momento (Pré vs Pós) e Tipo de Blocos (sequenciais vs aleatórios), além do fator entre-sujeitos Grupo (SRTT vs SRTT+RV). Foram reportados valores de F, p e tamanho de efeito parcial (η^2p). Em caso de violação da homogeneidade das variâncias (teste de Levene), foram utilizadas análises complementares robustas.

As comparações pós-hoc foram realizadas com ajuste de Bonferroni para múltiplas comparações. Além disso, para explorar os efeitos derivados, foram calculadas variáveis de diferença (Δ), incluindo Δ Agudo (Pré–Pós em cada dia) e Δ Consolidação (Dia 3 Pré – Dia 1 Pós). Essas diferenças foram comparadas entre os grupos por meio de ANOVA unifatorial (Welch), adequada para amostras de variâncias heterogêneas. A pontuação obtida na tarefa de realidade virtual (grupo SRTT+RV) foi analisada por meio de ANOVA de medidas repetidas com o fator intra-sujeitos Dia (1, 2 e 3). Quando identificados efeitos significativos, foram realizadas comparações post hoc com correção de Bonferroni. O nível de significância adotado foi de $p < 0.05$ para todas as análises.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

A amostra foi composta por 35 participantes saudáveis, distribuídos em dois grupos: SRTT (n=18) e SRTT+RV (n=17). A média de idade foi de 21,4 anos (DP=1,72; min=19; máx=26) no grupo SRTT e de 21,8 anos (DP=3,13; min=18; máx=29) no grupo SRTT+RV, com distribuição normal em ambos os grupos (Shapiro-Wilk, $p>0,09$). Quanto ao sexo, no grupo SRTT 12 participantes eram do sexo feminino e 6 do sexo

masculino, enquanto no grupo SRTT+RV 10 eram do sexo feminino e 7 do sexo masculino.

Tabela 1 – Características da amostra

Variável	Grupo SRTT (n=18)	Grupo SRTT+RV (n=17)	Total (N=35)
Idade (anos), M (DP)	21,4 (1,72)	21,8 (3,13)	21,6 (2,5)
Faixa etária (min–máx)	19 – 26	18 – 29	18 – 29
Sexo – Feminino	12 (66,7%)	10 (58,8%)	22 (62,9%)
Sexo – Masculino	6 (33,3%)	7 (41,2%)	13 (37,1%)

A análise de medidas repetidas revelou um efeito principal significativo de Momento (Pré vs Pós), $F(1,33)=46.19$, $p<0.001$, $\eta^2p=0.583$, indicando redução do tempo de reação em ambos os dias e caracterizando aprendizagem aguda. A interação Dia $\times$ Momento também foi significativa, $F(1,33)=6.80$, $p=0.014$, $\eta^2p=0.171$, mostrando que o ganho agudo foi mais pronunciado no Dia 1 do que no Dia 3, já que no segundo dia os participantes iniciaram o Pré com desempenho melhor, restando menor margem para melhora.

Quanto ao efeito crônico, observou-se efeito principal de Dia, $F(1,33)=36.43$, $p<0.001$, $\eta^2p=0.525$, com desempenho geral superior no Dia 3 em comparação ao Dia 1. Além disso, não houve diferença significativa entre o Pós do Dia 1 e o Pré do Dia 3 ($p=0.410$), sugerindo que a melhora adquirida no primeiro dia foi mantida após 48h, caracterizando consolidação da aprendizagem. No Dia 3, verificou-se nova redução significativa do RT do Pré para o Pós (~ 29 ms, $p<0.001$), configurando reaprendizagem.

Gráfico 01. Representação gráfica dos grupos em relação aos dias e momento (pré e pós).

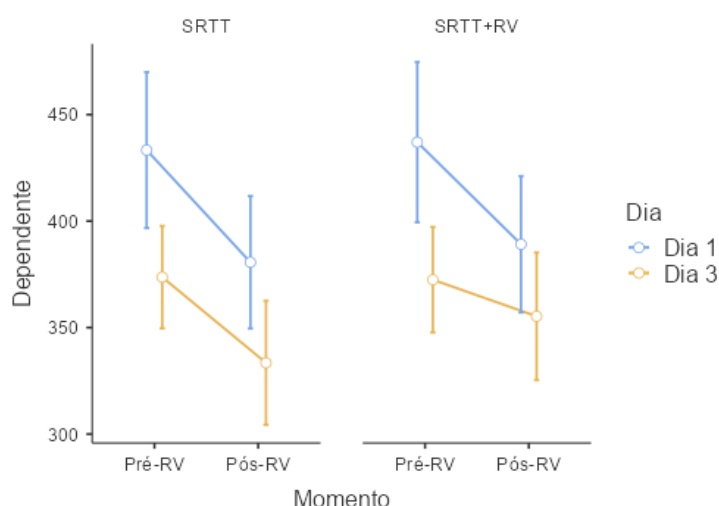


TABELA 02. Médias dos Fatores Momento * Dia * Grupo

Grupo	Dia	Momento	Média	Erro-padrão	Intervalo de Confiança a 95%	
					Lim. Inferior	Superior
SRTT	Dia 1	Pré-RV	433	18.0	397	470
		Pós-RV	381	15.3	350	412
	Dia 3	Pré-RV	374	11.8	350	398
		Pós-RV	333	14.3	304	363
SRTT+RV	Dia 1	Pré-RV	437	18.5	399	475
		Pós-RV	389	15.7	357	421
	Dia 3	Pré-RV	372	12.2	348	397
		Pós-RV	355	14.7	325	385

O fator Tipo de Blocos (sequenciais vs aleatórios), considerado isoladamente, não apresentou efeito principal significativo, $F(1,33)=2.28$, $p=0.140$. No entanto, interações revelaram padrões consistentes de aprendizagem implícita. A interação Momento $\times$ Tipo de Blocos, $F(1,33)=8.83$, $p=0.005$, $\eta^2p=0.211$, indicou que a diferença entre blocos se tornou mais evidente nos momentos Pós, reforçando que a prática favoreceu respostas mais rápidas em blocos sequenciais. A interação Dia $\times$ Momento $\times$ Tipo de Blocos, $F(1,33)=4.58$, $p=0.040$, $\eta^2p=0.122$, mostrou que esse efeito foi particularmente marcado no Dia 1 Pós e no Dia 3 Pós, sugerindo que a prática não apenas induziu ganhos imediatos, mas também consolidou a detecção de padrões sequenciais ao longo do

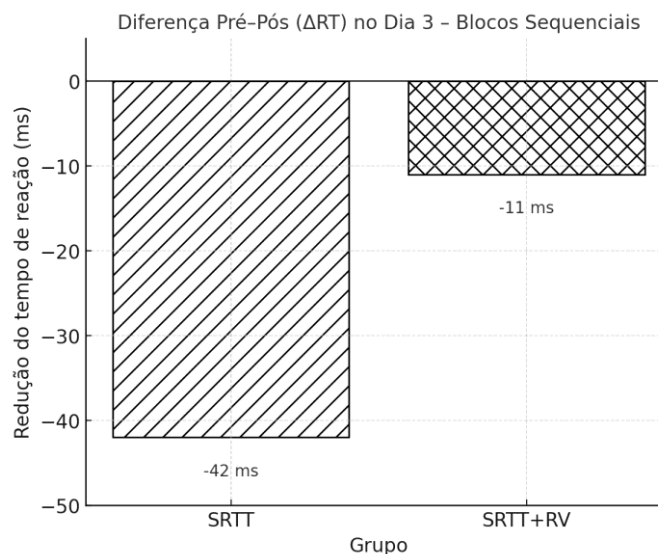
tempo. Por fim, a interação Dia $\times$ Tipo de Blocos $\times$ Grupo, $F(1,33)=5.59$, $p=0.024$, $\eta^2p=0.145$, apontou que a evolução da diferença Seq–Aleat não foi idêntica entre os grupos SRTT e SRTT+RV, sugerindo que a exposição à RV pode ter influenciado a forma de consolidação da aprendizagem implícita.

Não foram observadas interações significativas para Dia $\times$ Grupo ($p=0.805$), Momento $\times$ Grupo ($p=0.240$) ou Dia $\times$ Momento $\times$ Grupo ($p=0.278$). O efeito principal de Grupo também não foi significativo, $F(1,33)=0.20$, $p=0.659$.

As comparações post hoc confirmaram esses achados. No Dia 1, houve melhora significativa do Pré para o Pós (~ 50 ms, $p<0.001$). Entre o Dia 1 Pós e o Dia 3 Pré, não foram observadas diferenças ($p=0.410$), indicando retenção da aprendizagem após 48h. No Dia 3, verificou-se nova melhora significativa (~ 29 ms, $p<0.001$), reforçando a presença de reaprendizagem. Comparações entre blocos confirmaram que a diferença Seq–Aleat foi mais evidente nos momentos Pós, consolidando a evidência de aprendizagem implícita.

A análise complementar (ANOVA de Welch) indicou que apenas o efeito agudo sequencial no Dia 3 diferiu significativamente entre os grupos, $F(1,33)=7.96$, $p=0.010$. O grupo SRTT apresentou uma redução média de -42 ms do Pré para o Pós, enquanto o grupo SRTT+RV reduziu em média -11 ms, evidenciando um ganho agudo maior no grupo que treinou exclusivamente com o SRTT. Nos demais contrastes avaliados — efeito agudo sequencial no Dia 1, efeito agudo aleatório nos Dias 1 e 3, e efeitos de consolidação (Dia 1 Pós vs. Dia 3 Pré) para blocos sequenciais e aleatórios — não foram observadas diferenças significativas entre os grupos ($p>0.32$). Esses resultados sugerem que ambos os grupos apresentaram padrões semelhantes de aprendizagem e consolidação, mas a exposição prévia à RV esteve associada a uma redução da magnitude do ganho agudo no SRTT no terceiro dia. (GRÁFICO 02).

Gráfico 02. Diferença Pré–Pós (ΔRT) no Dia 3 – Blocos Sequenciais



Por fim, a análise das pontuações na tarefa de Realidade Virtual, realizada apenas com os participantes que completaram os três dias de treino no grupo SRTT+RV, revelou um efeito significativo do fator Dia, $F(2,32)=93.1$, $p<0.001$, $\eta^2p=0.853$. As comparações post hoc mostraram aumento expressivo da pontuação do Dia 1 ($M=46.395$, $EP=3.150$) para o Dia 2 ($M=82.551$, $EP=4.883$; $p<0.001$) e do Dia 1 para o Dia 3 ($M=91.771$, $EP=5.258$; $p<0.001$). Entre o Dia 2 e o Dia 3, houve tendência de melhora (diferença média = -9.220 , $p=0.055$), embora sem atingir significância estatística. Esse padrão sugere que a maior parte da adaptação ocorreu nos primeiros dois dias de treino, com progressão mais discreta e aproximação de um platô no terceiro dia.

4.2 DISCUSSÃO

O objetivo deste estudo foi investigar os efeitos da prática repetida na tarefa SRTT e da exposição à realidade virtual (RV) sobre a aprendizagem motora implícita. Em especial, buscou-se verificar a presença de efeitos agudos (Pré → Pós no mesmo dia), crônicos (retenção após 48 horas) e de reaprendizagem, além de explorar se a prática em RV, por envolver respostas rápidas a estímulos visuais, poderia modular ou transferir ganhos para a tarefa de sequência implícita.

Os resultados confirmam que a tarefa SRTT promoveu aprendizagem implícita de sequências, evidenciada pela redução significativa do tempo de reação tanto em nível agudo (Pré → Pós dentro de cada dia) quanto crônico (Dia 1 → Dia 3). A retenção foi demonstrada pela ausência de diferença entre o Pós do Dia 1 e o Pré do Dia 3, indicando manutenção dos ganhos após 48 horas, caracterizando consolidação da memória motora. No Dia 3, a nova redução do tempo de reação do Pré para o Pós evidenciou

reaprendizagem, um fenômeno típico de tarefas motoras previamente internalizadas. Esse quadro de transferência parcial e de platô precoce também encontra suporte em estudos que aplicaram versões virtuais da SRTT e tarefas visuomotoras, os quais notam rápido ganho inicial seguido de desaceleração do progresso (Sense & Van Rijn, 2018; Battisti *et al.*, 2022).

A análise por tipo de bloco reforçou a ocorrência de aprendizagem implícita, com diferenças mais evidentes entre blocos sequenciais e aleatórios após a prática, sugerindo sensibilidade do sistema motor a padrões temporais previsíveis mesmo sem instruções explícitas. Esse achado está em consonância com estudos prévios que utilizaram a SRTT como modelo clássico de aprendizagem implícita (Nitsche *et al.*, 2003; Kuo *et al.*, 2008; Reis *et al.*, 2009).

Embora os efeitos principais não tenham indicado diferenças robustas entre grupos, a interação Dia $\times$ Tipo de Blocos $\times$ Grupo e a análise dos efeitos agudos no Dia 3 sugerem que a exposição à realidade virtual modulou parcialmente a aprendizagem sequencial. O grupo que treinou em RV apresentou desempenho geral semelhante, mas com ganho agudo menor no terceiro dia, possivelmente refletindo uma redução do espaço de melhora após experiência visuomotora intensiva. Em outras palavras, a prática em RV pode ter antecipado parte da adaptação motora, reduzindo a magnitude da aprendizagem subsequente no SRTT. Essa interpretação é compatível com a literatura sobre transferência parcial de habilidades visuomotoras.

Reis *et al.* (2009) demonstraram que a aquisição de habilidades motoras pode ser influenciada não apenas pela prática repetida, mas também por intervenções que modulam os processos de consolidação, como a estimulação cortical não invasiva. Os autores observaram que a estimulação durante múltiplos dias de treino potencializou a retenção e o reaproveitamento das habilidades, evidenciando que a consolidação é um momento crítico para ganhos duradouros. Nesse sentido, o efeito observado no presente estudo, em que a exposição prévia à realidade virtual reduziu a magnitude do ganho agudo no SRTT, pode ser explicado pelo fato de a RV ter antecipado parte dessas adaptações neurais, semelhante ao que ocorre quando mecanismos externos modulam a consolidação. Em outras palavras, assim como a estimulação cortical aplicada por Reis e colaboradores intensificou os processos de aprendizagem e reduziu a janela de melhora subsequente, a prática intensiva em ambiente virtual pode ter promovido

ajustes precoces nos circuitos motores, limitando a margem de progresso imediato, mas favorecendo a estabilização e a transferência de habilidades.

A curva de aprendizagem observada na tarefa de RV corroborou esse efeito. Houve melhora acentuada entre o primeiro e o segundo dia, indicando adaptação rápida à tarefa visuomotora, seguida de ganhos menores entre o segundo e o terceiro dia, sugerindo aproximação de um platô de desempenho. Essa trajetória é característica de processos de aprendizagem rápida inicial seguidos de consolidação, reforçando a validade da RV como ferramenta de treino motor. Além disso, a melhora expressiva em tempo de reação e coordenação nos dias iniciais pode ter contribuído para o padrão observado no SRTT, atuando como um treino indireto de respostas rápidas a estímulos visuais e transferindo parte do aprendizado para a tarefa sequencial.

Em síntese, os achados indicam que tanto a prática repetida no SRTT quanto a exposição a tarefas visuomotoras em RV fortalecem mecanismos de aprendizagem implícita e consolidação motora. Embora não tenham sido observadas diferenças globais significativas entre grupos, a tendência de menor ganho agudo no grupo SRTT+RV sugere que a prática em ambiente virtual pode antecipar adaptações motoras, modulando a curva de reaprendizagem no SRTT. Esses resultados dialogam com a literatura que descreve a SRTT como paradigma padrão para investigar aprendizagem implícita (Robertson, 2007; Nitsche *et al.*, 2003; Kuo *et al.*, 2008; Sense *et al.*, 2018) e reforçam o potencial da RV como ferramenta complementar em contextos de treino motor (Rutkowski *et al.*, 2024).

Algumas limitações devem ser consideradas. O tamanho amostral reduzido pode ter limitado o poder estatístico para identificar efeitos sutis de grupo. A heterogeneidade individual na responsividade ao treino motor também pode ter aumentado a variabilidade dos resultados. Além disso, embora blocos aleatórios tenham sido incluídos como condição controle, a identificação de efeitos específicos de transferência da RV ainda exige protocolos mais refinados. Estudos futuros devem incluir amostras maiores, explorar diferentes modalidades de RV e integrar técnicas de neuromodulação não invasiva (ETCC, TMS) para investigar potenciais efeitos sinérgicos. Avaliar diferentes jogos em RV permitirá compreender se os efeitos observados são específicos do *Beat Saber* ou se refletem um fenômeno mais amplo de transferência entre tarefas visuomotoras e aprendizagem implícita.

5. CONCLUSÃO

Tanto a prática repetida quanto a realidade virtual favoreceram a aprendizagem implícita e a consolidação motora, com retenção após 48 horas e reaprendizagem no terceiro dia. A exposição à realidade virtual antecipou parte das adaptações motoras, mostrando-se uma ferramenta complementar para o treino de habilidades visuomotoras.

6. REFERÊNCIAS

BATTISTI, Federica, *et al.* **Human reaction time in a mixed reality environment.** *Frontiers in Neuroscience*, Italia, Aug 2022. 19:16:897240. doi: 10.3389/fnins.2022.897240.

BUETLER, Karin, *et al.* **"Tricking the Brain" Using Immersive Virtual Reality: Modifying the Self-Perception Over Embodied Avatar Influences Motor Cortical Excitability and Action Initiation.** *Frontiers In Human Neuroscience*, 2022 Feb 9:15:787487. doi: 10.3389/fnhum.2021.787487.

DEBARNOT, Ursula, *et al.* **Acquisition and consolidation of implicit motor learning with physical and mental practice across multiple days of anodal tDCS.** *Neurobiology of Learning and Memory*, Out 2019, Volume 164. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2019.107062>.

FARIČ, N. *et al.* **What Players of Virtual Reality Exercise Games Want: Thematic Analysis of Web-Based Reviews.** *Journal of Medical Internet Research*, v. 21, n. 9, p. e13833, 16 set. 2019. doi: 10.2196/13833

Kanayama, N., Masayuki, H., Kenta, K. **Virtual reality alters cortical oscillations related to visuo-tactile integration during rubber hand illusion.** *Scientific Reports*, 2021 Jan 14;11(1):1436. doi: 10.1038/s41598-020-80807-y.

King EM, Edwards LL, Borich MR (2022) **Effects of short-term arm immobilization on motor skill acquisition.** *PLoS ONE* 17(10): e0276060. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276060>

KUO, M.-F. *et al.* **Limited impact of homeostatic plasticity on motor learning in humans.** *Neuropsychologia*, v. 46, n. 8, p. 2122-2128, 2008. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.02.023>

LIAO, Ying-Li, *et al.* **Using virtual reality-based training to improve cognitive function, instrumental activities of daily living and neural efficiency in older adults**

with mild cognitive impairment. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 2020 Feb;56(1):47-57. doi: 10.23736/S1973-9087.19.05899-4. Epub 2019 Oct 15.

NITSCHKE, M. A. *et al.* **Facilitation of implicit motor learning by weak transcranial direct current stimulation of the primary motor cortex in the human.** *Journal of Cognitive Neuroscience*, v. 15, n. 4, p. 619-626, 2003. doi: <https://doi.org/10.1162/089892903321662994>

REIS, J. *et al.* **Noninvasive cortical stimulation enhances motor skill acquisition over multiple days through an effect on consolidation.** *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, v. 106, n. 5, p. 1590-1595, 2009. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0805413106>

Rivera-Urbina, G.N., Molero-Chamizo, A. & Nitsche, M.A. **Discernible effects of tDCS over the primary motor and posterior parietal cortex on different stages of motor learning.** *Brain Struct Funct* 227, 1115–1131 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00429-021-02451-0>

ROBERTSON, Edwin M. **The serial reaction time task: implicit motor skill learning?** *Journal of Neuroscience*, v. 27, n. 38, p. 10073-10075, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2747-07.2007>.

ROHRBACH, Nina; CHICKLIS, Emily; LEVAC, Danielle Elaine. **What is the impact of user affect on motor learning in virtual environments after stroke? A scoping review.** *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 2019, 16: 1-14.

RUTKOWSKI, Sebastian *et al.* **Training using a commercial immersive virtual reality system on hand–eye coordination and reaction time in students: a randomized controlled trial.** *Virtual Reality*, [s. l.], v. 28, p. 7, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10055-023-00898-6>.

SCHMIDT, R. A.; TIMOTHY DONALD LEE. **Motor learning and performance : from principles to application.** 5. ed. *Champaign, Il: Human Kinetics*, 2019.

SENSE, Florian; VAN RIJN, Hedderik. **Probabilistic motor sequence learning in a virtual reality serial reaction time task.** *PLoS ONE*, v. 13, n. 6, p. e0198759, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198759>

SHUMWAY-COOK, A.; WOOLLACOTT, M. H. **Motor control : translating research into clinical practice**. Philadelphia: Wolters Kluwer, 2017.

SINGH, Harjiv. **Skill Acquisition**. *Science For Sport*, 29 feb 2024. Disponível em: <<https://www.scienceforsport.com/skill-acquisition/>>

SONY GROUP CORPORATION. **PlayStation VR (modelo CUH-ZVR1/2)**. 2023. Disponível em: <<https://www.playstation.com/en-us/ps-vr/tech-specs/>>