



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES
DEPARTAMENTO DE PSICOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NEUROCIÊNCIAS COGNITIVA E
COMPORTAMENTO**

THALITA VIEGAS DOS SANTOS LIMA

**CONTATO COM A NATUREZA EM REALIDADE VIRTUAL: EFEITOS
PSICOFISIOLÓGICOS EM UNIVERSITÁRIOS**

**JOÃO PESSOA
2025**

THALITA VIEGAS DOS SANTOS LIMA

**CONTATO COM A NATUREZA EM REALIDADE VIRTUAL: EFEITOS
PSICOFISIOLÓGICOS EM UNIVERSITÁRIOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Neurociência Cognitiva e Comportamento (PPGNeC) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Neurociência Cognitiva e Comportamento, na linha de pesquisa: Psicobiologia – processos psicológicos básicos e neuropsicologia

Orientador: Dr. Luiz Carlos Serramo Lopez

Coorientador: Dr. Danilo Andrade de Meneses



ATA DE DEFESA (DISSERTAÇÃO)

Aos vinte e sete dias do mês de outubro de dois mil e vinte e cinco, às quinze horas, em formato remoto (<https://meet.google.com/bnz-kcuj-xim>), reuniram-se em solenidade pública os membros da comissão designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Neurociência Cognitiva e Comportamento para a defesa de dissertação de mestrado da discente **THALITA VIEGAS DOS SANTOS LIMA**, matrícula 20231024730. Foram componentes da banca examinadora os Professores Doutores: Luiz Carlos Serramo Lopez (Presidente/orientador), Thiago Siqueira Paiva de Souza (Membro Interno) e Karina Pavão Patrício (Membro Externo à Instituição/UNESP). Dando início aos trabalhos, o presidente da banca, Prof. Luiz Carlos Serramo Lopez, após declarar o objetivo da reunião, apresentou a examinanda **THALITA VIEGAS DOS SANTOS LIMA** e, em seguida, concedeu-lhe a palavra para que defendesse sua pesquisa, intitulada “Contato com a natureza em realidade virtual: efeitos psicofisiológicos em universitários.”. Passando então ao aludido tema, a examinanda foi a seguir arguida pelos examinadores na forma regimentar. Ato contínuo passou a comissão, em secreto, a proceder à avaliação e julgamento do trabalho, concluindo por atribuir-lhe o conceito “**APROVADA**”, o qual foi proclamado pela presidência logo que esta foi franqueada ao recinto da solenidade pública. A versão final da dissertação deverá ser depositada em até 90 dias, contendo as modificações sugeridas pela banca examinadora. A discente não terá o título se não cumprir as exigências acima.

Nada mais havendo a tratar, eu, **Luiz Carlos Serramo Lopez**, presidente da comissão examinadora, lavrei a presente ata, que depois de lida e aprovada por todos, assino juntamente aos demais membros da banca. João Pessoa, 27 de outubro de 2025.

Documento assinado digitalmente
 **THALITA VIEGAS DOS SANTOS LIMA**
Data: 28/10/2025 19:19:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Thalita Viegas dos Santos Lima (Mestranda/PPGNeC)

Documento assinado digitalmente
 **LUIZ CARLOS SERRAMO LOPEZ**
Data: 28/10/2025 11:43:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Luiz Carlos Serramo Lopez (Presidente/Orientador)

Documento assinado digitalmente
 **THIAGO SIQUEIRA PAIVA DE SOUZA**
Data: 06/11/2025 15:17:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Thiago Siqueira Paiva de Souza (Membro Interno)

Documento assinado digitalmente
 **KARINA PAVAO PATRICIO**
Data: 03/11/2025 11:51:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Karina Pavão Patrício (Membro Externo à Instituição/UNESP)

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
DEPARTAMENTO DE PSICOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NEUROCIÊNCIA COGNITIVA E
COMPORTAMENTO

THALITA VIEGAS DOS SANTOS LIMA

**CONTATO COM A NATUREZA EM REALIDADE VIRTUAL: EFEITOS
PSICOFISIOLÓGICOS EM UNIVERSITÁRIOS**

Aprovado em: 27 de Outubro de 2025

Banca examinadora

Dr. Luiz Carlos Serramo Lopez (Orientador)
Universidade Federal da Paraíba – UFPB

Dr. Thiago Siqueira Paiva de Souza (Membro Interno)
Universidade Federal da Paraíba – UFPB

Dra. Karina Pavão Patrício (Membro Externo)
Universidade Estadual Paulista – UNESP

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me permitir concluir mais um ciclo da minha vida. Agradeço também a Nossa Senhora, por tantas intercessões que tornaram possível chegar até aqui.

Aos meus pais, Joana Viegas e João Batista, meu amor e gratidão por todo o apoio e incentivo ao longo dessa jornada acadêmica e da vida. Vocês são minha maior inspiração de dedicação. Aos meus irmãos, Helena Lima e Leonam Vital, o que vocês me proporcionam é imensurável. Obrigada por todos os momentos felizes que compartilhamos.

Agradeço ao meu noivo, Jéferson Silva, pela parceria, amor e cumplicidade construídos ao longo dos anos. Seu apoio foi essencial para que eu concluísse este trabalho. A vida faz mais sentido com você, obrigada por sempre me mostrar que existe algo de bom para celebrar todos os dias.

Ao meu gêmulos, Davi Melquiades, por termos compartilhado toda essa trajetória dentro e fora do mestrado, mesmo em PPGs diferentes, seguimos conectados desde a graduação.

À Gabriela Gomes, a irmã que o Lecopsi me deu. Sem você, eu não teria conseguido enxergar diversas situações com tanta leveza, especialmente nos dias mais difíceis. E obrigada por ter gerado um mini ser humano tão incrível como a Jojo, vocês iluminam meus dias.

À Mayara Roberta, por seguirmos compartilhando nossas vidas apesar da distância. Nossa amizade só se fortaleceu desde quando éramos pequenas até os dias de hoje. Você está sempre no meu coração.

Ao Prof. Luiz Lopez, por me orientar desde a graduação, me acolher no laboratório e estar presente em todas as etapas deste trabalho. Agradeço por todas as inúmeras reuniões necessárias para definirmos o delineamento do estudo e por ser tão solícito com seus alunos.

Ao meu coorientador Danilo Meneses, pela parceria nas publicações e por estar sempre disponível para ajudar, com atenção e generosidade.

À Vanine Figueiredo, minha duplinha de mestrado, por dividirmos tantas disciplinas, pelas organizações no CCNeC, pelos puxões de orelha quando precisei e por me validar e me escutar em tantos momentos.

Aos friends biofílicos, Luiz Felipe e Bruno Flor, que me acompanharam nas coletas, sem vocês tudo teria sido mais difícil. Obrigada por tornarem esses momentos tão especiais.

Aos amigos que a pós me proporcionou compartilhar essa trajetória: Kelly Dantas. Ana Beatriz, Lucas Vitorino, Byanca Eugênia e Lorena Candido. Obrigada por todas as trocas que tivemos. Aos demais colegas do laboratório que, direta ou indiretamente, contribuíram com ideias e reflexões durante nossas reuniões.

Aos membros da banca, Prof. Thiago Souza e Profa. Karina Pavão, pela generosidade em aceitar o convite e pelas valiosas contribuições a este trabalho.

E, por fim, mas não menos importante, a todos os voluntários que aceitaram participar deste estudo. Obrigada por contribuírem com a ciência!

Sumário

INTRODUÇÃO.....	12
CAPÍTULO II.....	13
REVISÃO DA LITERATURA.....	13
2.1 BEM-ESTAR E ESTRESSE EM CONTEXTOS ACADÊMICOS	13
2.2 CONTATO COM A NATUREZA E SAÚDE HUMANA	14
2.3 NATUREZA SIMULADA EM REALIDADE VIRTUAL	16
2.4 VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA: BIOMARCADOR DO SISTEMA NERVOSO AUTÔNOMO	17
CAPÍTULO III.....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Caracterização e delineamento do estudo	20
3.2 Elegibilidade.....	20
3.3 Aspectos éticos.....	20
3.4 Instrumentos utilizados	20
3.5 Procedimento experimental.....	22
3.6 Análise de dados.....	23
CAPÍTULO IV.....	24
4. RESULTADOS	24
4.1 Participantes.....	24
4.2 Comparação entre grupos.....	25
4.3 Comparação entre etapas (intra-grupo)	27
4.4 Modelos lineares mistos (etapa x grupo)	30
4.5 Correlação com as escalas psicológicas.....	37
CAPÍTULO V	38
5. DISCUSSÃO	38
5.1 Efeito do protocolo de estresse e recuperação.....	38
5.2 Comparação entre grupos.....	40
5.2 Correlação com variáveis fisiológicas	41
CAPÍTULO VI.....	43
CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS.....	44
ANEXOS.....	52
ANEXO A – ESCALA DE AUTOCOMPAIXÃO	52
ANEXO B – ESCALA DE DEPRESSÃO, ANSIEDADE E ESTRESSE (DASS-21).....	53
ANEXO C – ESCALA DE ATENÇÃO E CONSCIÊNCIA PLENAS (MAAS).....	54
ANEXO D – ESCALA DE CONEXÃO COM A NATUREZA (ECN-14)	55
ANEXO E – ESCALA DE SATISFAÇÃO COM A VIDA.....	56
APÊNDICES	57
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO SOCIODEMOGRÁFICO.....	57

APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)	63
APÊNDICE C - COMPROVAÇÃO DE SUBMISSÃO ARTIGO EM REVISTA E ARTIGO COMPLETO	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Caracterização dos participantes	24
Tabela 2	Proporção de participantes que se recuperaram após a fase estressora nos grupos Experimental e Controle	25
Tabela 3	Diferença entre grupos (Experimental vs Controle) nos deltas restaurativos imediato e sustentado para RMSSD, SDNN, LF, HF e HR	26
Tabela 4	ANCOVA para comparação das respostas de RMSSD durante a fase estressora entre grupos, controlando RMSSD na fase <i>Forms</i>	27
Tabela 5	Diferença entre grupos (Controle vs. Experimental) nos deltas de variabilidade da frequência cardíaca (VFC) em diferentes etapas do protocolo	27
Tabela 6	Comparação intragrupo entre fases (Baseline, Forms e Estressor) nos grupos Experimental e Controle (teste de Wilcoxon)	29
Tabela 7	Resultados do Modelo Linear Misto (RMSSD como variável dependente)	30
Tabela 8	Resultados dos Modelos Mistos para Variáveis Fisiológicas de acordo com o Baseline	31
Tabela 9	Comparações pós-hoc entre etapas (modelo linear misto, Bonferroni)	34
Tabela 10	Comparações pós-hoc por grupo Experimental e Controle (Bonferroni)	36
Tabela 11	Correlações de Spearman significativas entre deltas fisiológicos restaurativos e escores das escalas psicológicas (N = 39)	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Modelo de óculos RV utilizado na pesquisa	22
Figura 2	Print do cenário <i>Green Meadows</i> do <i>Nature Treks VR</i>	22
Figura 3	Protocolo experimental	23
Figura 4	Variação do RMSSD por etapa e grupo (Controle vs Experimental)	32
Figura 5	Variação do HF por etapa e grupo (Controle vs Experimental)	32
Figura 6	Boxplot do índice RMSSD por grupo e etapa do experimento	35
Figura 7	Boxplot do índice HF (normalizado) por grupo e etapa do experimento	35
Figura 8	Boxplot do índice HR por grupo e etapa do experimento	35

RESUMO

LIMA, T. V. S. L. **Contato com a natureza em realidade virtual: efeitos psicofisiológicos em universitários.** Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2025.

O ritmo acelerado da vida urbana, aliado à crescente desconexão com ambientes naturais, tem sido associado ao aumento de sintomas de estresse e prejuízos à saúde mental. Diversas evidências apontam que o contato com a natureza promove efeitos restaurativos significativos, tanto psicológicos quanto fisiológicos. No entanto, em contextos urbanos, o acesso a esses ambientes pode ser limitado, o que impulsiona a busca por alternativas como a realidade virtual (RV). Este estudo experimental, com delineamento cruzado, teve como objetivo investigar os efeitos imediatos de uma breve exposição à natureza virtual, via o jogo *Nature Treks VR*, sobre a variabilidade da frequência cardíaca (VFC) de estudantes universitários após a indução de um estressor cognitivo. Participaram 39 voluntários, alocados aleatoriamente nos grupos experimental e controle. Foram coletadas medidas fisiológicas contínuas com a cinta torácica Polar H10, além de escalas psicológicas aplicadas no baseline. Os resultados revelaram que tanto a RV quanto o descanso passivo favoreceram a recuperação autonômica. Apesar de não haver diferenças significativas entre as condições para a maioria dos índices de VFC, observou-se redução significativa da frequência cardíaca no grupo exposto à RV. Além disso, sintomas de depressão, estresse, níveis de atenção plena e satisfação com a vida demonstraram associações relevantes com os índices fisiológicos, sugerindo que características individuais influenciam a resposta à recuperação autonômica. Conclui-se que a natureza virtual apresenta potencial como ferramenta complementar de promoção de bem-estar, sobretudo em ambientes acadêmicos, e destaca-se a importância de estudos futuros com amostras mais amplas e delineamentos longitudinais.

Palavras-chave: Psicofisiologia; Variabilidade da frequência cardíaca; Autorregulação; Estressor cognitivo; Biofilia.

ABSTRACT

LIMA, T. V. S. L. **Virtual Nature Contact: Psychophysiological Effects on University Students**. Federal University of Paraíba, João Pessoa, 2025.

The fast-paced nature of urban life, combined with increasing disconnection from natural environments, has been associated with elevated stress symptoms and negative impacts on mental health. A growing body of evidence suggests that contact with nature promotes significant restorative effects, both psychological and physiological. However, in urban settings, access to natural environments can be limited, prompting the exploration of alternatives such as virtual reality (VR). This experimental study, using a crossover design, aimed to investigate the immediate effects of a brief exposure to virtual nature—via the game *Nature Treks VR*—on heart rate variability (HRV) in university students following a cognitive stressor. A total of 39 participants were randomly assigned to experimental and control groups. Continuous physiological data were collected using the Polar H10 chest strap, and psychological scales were administered at baseline. Results indicated that both VR and passive rest facilitated autonomic recovery. Although no significant differences were observed between conditions for most HRV indices, a significant reduction in heart rate was found in the group exposed to VR. Furthermore, symptoms of depression, stress, mindfulness levels, and life satisfaction showed meaningful associations with physiological indices, suggesting that individual characteristics influence autonomic recovery responses. These findings support the potential of virtual nature as a complementary tool for well-being promotion, particularly in academic environments, and underscore the need for future studies with larger samples and longitudinal designs.

Keywords: Psychophysiology; Heart rate variability; Brain activity; Self-regulation; Cognitive stressor; Biophilia.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Estima-se que, até 2050, 68% da população mundial residirá em áreas urbanas (United Nations, 2019). No Brasil, esse percentual chega atualmente em 87,4%, segundo o último censo realizado em 2022 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023). Esse processo de urbanização e alterações socioeconômicas trouxe avanços significativos, como acesso a infraestrutura, serviços e oportunidades de emprego, bem como melhorias no estilo de vida e comportamento das pessoas. No entanto, um dos desafios enfrentados é a redução do contato direto com a natureza em ambientes naturais, impactando diretamente o bem-estar e saúde mental das populações (Soga e Gaston, 2016; Dimenstein e Siqueira, 2020).

Diversos estudos têm demonstrado que o contato com a natureza está associado à redução do estresse, aos menores níveis de ansiedade e depressão, à melhora do humor, ao aumento do bem-estar subjetivo, à otimização das funções cognitivas e a melhorias em parâmetros fisiológicos, como a redução da pressão arterial e dos níveis de cortisol, além do aumento da variabilidade da frequência cardíaca (Maas et al., 2009; Keniger et al., 2013; Yang et al., 2021; Aras et al., 2024).

A hipótese da biofilia, proposta por Edward O. Wilson (1984), descreve essa afinidade inata dos seres humanos com ambientes naturais. Essa relação, moldada ao longo da evolução, contribui para a restauração cognitiva, a regulação emocional e o desenvolvimento de comportamentos pró-ambientais (Martin et al., 2020; Gunnarsson & Hedblom, 2023).

Estudos sugerem que, para manter os benefícios à saúde, são recomendados pelo menos 120 minutos semanais de contato com a natureza (White et al., 2019). No entanto, a rotina urbana frequentemente impede que esse tempo seja atingido, criando um cenário em que alternativas capazes de simular experiências restauradoras tornam-se cada vez mais relevantes. Nesse contexto, a realidade virtual (RV) surge como uma ferramenta promissora, permitindo a criação de ambientes imersivos que simulam a presença em contextos naturais, com potencial para gerar benefícios semelhantes aos do contato direto (Mattila et al., 2020).

Uma das principais vantagens da RV imersiva em relação a outros tipos de simulação é sua capacidade de proporcionar um elevado senso de presença: a sensação de estar fisicamente presente no ambiente virtual (Mattila et al., 2020). Utilizando dispositivos acoplados à cabeça, conhecidos como óculos RV e a combinação de estímulos visuais e auditivos, essa tecnologia permite que o usuário perceba e interaja com a natureza virtual de forma semelhante ao contato real. Estudos indicam que ambientes naturais gerados por computador em RV podem ser percebidos como tão restauradores quanto ambientes físicos (Mattila et al., 2020).

Apesar dessas evidências, a maioria das pesquisas sobre RV e natureza envolve exposições prolongadas, populações clínicas ou avaliações predominantemente subjetivas. Poucos estudos investigaram intervenções breves em RV aplicadas imediatamente após um estressor, utilizando marcadores fisiológicos sensíveis como a variabilidade da frequência

cardíaca (VFC). Além disso, o uso específico do *Nature Treks VR* ainda foi pouco explorado nesse contexto, especialmente em populações não clínicas, como estudantes universitários, um grupo que frequentemente enfrenta demandas cognitivas e emocionais elevadas (Meneses e Santos, 2023). Essa lacuna limita a compreensão do potencial da RV como estratégia de promoção de bem-estar em situações cotidianas.

Compreender se uma exposição breve à natureza virtual é capaz de induzir ajustes fisiológicos positivos após um evento estressor pode ampliar o leque de estratégias de intervenção em saúde mental e bem-estar, especialmente para indivíduos com acesso limitado a áreas verdes. Evidências mostram que a exposição à natureza, real ou virtual, pode produzir benefícios fisiológicos mensuráveis, como redução da pressão arterial e dos níveis de cortisol, e que a VFC é um marcador não invasivo e sensível para captar essas respostas (Shaffer & Ginsberg, 2017; Arakaki et al., 2023). Assim, investigar os efeitos imediatos de um contato virtual com a natureza por meio do *Nature Treks VR* pode contribuir para o avanço de soluções acessíveis e eficazes no manejo do estresse e na promoção do bem-estar.

Dessa forma, o objetivo do presente estudo é avaliar o efeito restaurador imediato de uma exposição breve à natureza virtual, por meio do jogo *Nature Treks VR*, sobre a variabilidade da frequência cardíaca (VFC) após a indução de um estressor aritmético em estudantes universitários.

CAPÍTULO II

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 BEM-ESTAR E ESTRESSE EM CONTEXTOS ACADÊMICOS

O estresse promove uma alteração na homeostase e esta, por sua vez, é um conceito que foi formulado pelo fisiologista Walter Cannon, em 1920, para se referir a um complexo equilíbrio dinâmico do ambiente interno do nosso corpo frente a estímulos internos e externos (Brito e Haddad, 2017).

Existem tipos de estresses diferentes, relacionado aos diversos seres vivos e os efeitos que cada estresse causa. De forma geral é possível diferenciar entre o “*eustress*” e o “*distress*”, termos culminados pelo endocrinologista Hans Selye. O primeiro refere-se ao estresse que causa uma resposta moderada, na qual a homeostase é apenas levemente alterada, de forma que gera um benefício ao indivíduo em níveis que são favoráveis para a manutenção da vida, e o segundo é relacionado ao estresse que causa uma resposta severa, ocasionando em danos maiores de forma sistêmica. (Selye, 1974).

Os estressores podem ser classificados em diferentes categorias, dependendo de sua natureza. Estressores físicos envolvem alterações ambientais, como calor, frio ou dor; estressores psicológicos estão associados a demandas cognitivas e emocionais, como a

resolução de problemas sob pressão; e estressores sociais emergem das interações interpessoais e do julgamento dos outros (Lu et al., 2021). Além disso, é possível distinguir entre estressores agudos, de curta duração e alta intensidade, e estressores crônicos, de longa duração e impacto cumulativo. No contexto acadêmico, os estressores cognitivos se destacam, sendo amplamente utilizados em protocolos experimentais, como o teste aritmético induzido, que consiste em realizar cálculos sob pressão e provoca respostas autonômicas características do estresse (Lu et al., 2021).

A resposta ao estresse é mediada principalmente por dois sistemas fisiológicos: o eixo hipotálamo–hipófise–adrenal (HPA) e o sistema nervoso autônomo (SNA). Este último regula funções involuntárias, como frequência cardíaca e respiração, por meio da ação conjunta de suas divisões simpática e parassimpática. Em situações de estresse, observa-se uma ativação predominante do sistema simpático, responsável pelas respostas de “luta ou fuga”, e uma inibição relativa do parassimpático, que atua na restauração e no repouso (Benarroch, 2020). Essa dinâmica pode ser avaliada de forma indireta por meio da variabilidade da frequência cardíaca (VFC), amplamente reconhecida como um marcador do equilíbrio autonômico e da capacidade de regulação fisiológica diante de estressores (Shaffer et al., 2014).

O ingresso no ensino superior costuma ser visto como uma conquista na vida de um indivíduo, em que se inicia uma etapa na formação de um novo profissional na sociedade. No entanto, esse processo é marcado por muitas mudanças e desafios, seja com relação à carreira, gerenciamento de tempo, finanças e novas vivências, muitas vezes em outras cidades, que impactam diretamente o bem-estar dos discentes acadêmicos (Trigueiro et al., 2021; Meneses e Santos, 2023).

O público universitário apresenta características que justificam sua escolha como alvo deste estudo. São estudantes que, por muitas vezes, estão passando pela fase de transição para a vida adulta, com o sistema neurológico ainda se desenvolvendo, sobretudo o córtex pré-frontal (responsável pela capacidade de planejamento, funções executivas e atenção dirigida, entre outras funções) enquanto são expostos a uma sobrecarga de demandas acadêmicas, novas adaptações de rotina e aumento de responsabilidades, favorecendo o surgimento de sintomas de estresse, depressão e ansiedade, como apontam estudos de revisão (Fragelli e Fragelli, 2021; Meneses e Santos, 2023).

Esse cenário impacta diretamente o bem-estar e a saúde psicofisiológica, tornando essa população especialmente vulnerável. Além disso, a rotina universitária exige alta demanda de atenção dirigida, contribuindo para fadiga mental, aspecto diretamente relacionado às teorias de restauração da atenção e recuperação do estresse (Ulrich et al., 1991). Nesse contexto, investigar os efeitos restaurativos de ambientes naturais mediados por realidade virtual pode oferecer alternativas para a promoção da saúde mental em ambientes acadêmicos.

2.2 CONTATO COM A NATUREZA E SAÚDE HUMANA

O conceito de biofilia refere-se a uma predisposição inata dos seres humanos a buscar contato com ambientes naturais, fundamentada em aspectos evolutivos de sobrevivência (Fromm, 1973; Wilson, 1984; Kellert e Wilson, 1995). Estudos demonstram que a exposição à natureza está associada à redução de estresse, melhora de humor, recuperação de atenção e

aumento do bem-estar subjetivo, incluindo aumento de atitudes pró-ambientais (Berman et al., 2008; Keniger et al., 2013; Houlden et al., 2018; Martin et al., 2020; Yang et al., 2021). Dessa forma, esses efeitos se manifestam em indicadores psicofisiológicos, incluindo diminuição da pressão arterial, frequência cardíaca e níveis de cortisol, promovendo uma autoregulação do sistema nervoso autônomo (Beil & Hanes, 2013; Gaekwad et al., 2022).

Uma das teorias que ajudam a explicar esse fenômeno é a *Attention Restoration Theory* (ART), a qual propõe que ambientes verdes, como jardins, parques e florestas, reestabelecem a capacidade de atenção, enquanto promove bem-estar (Kaplan, 2001). Outra teoria complementar, a *Stress Reduction Theory* (SRT) sugere que os ambientes naturais promovem recuperação do estresse (Ulrich, 1991). Os benefícios de estar em contato com a natureza vão desde ter experiências restaurativas na saúde fisiológica e psicológica, bem como recuperação de fadiga atencional, redução do estresse psicofisiológico e aumento de estados emocionais positivos (Ulrich et al., 1991; Kaplan, 1989; Tyrvaäinen et al., 2014).

Em uma revisão guarda-chuva feita por Yang et al (2021), avaliaram quarenta revisões sistemáticas e meta-análises a fim de compreenderem sobre a saúde humana e os espaços verdes. Os autores encontraram que a presença de espaços verdes urbanos está associada ao incentivo à prática de atividade física, sendo um fator protetivo para a saúde, bem como apresentam diminuições de problemas emocionais, melhorias na saúde mental, além de problemas ambientais, como mitigação da poluição do ar, ruído e conforto térmico. No entanto, eles apontam que os estudos apresentam muita heterogeneidade metodológica, sendo principalmente estudos transversais e em países com alto desenvolvimento, o que dificulta encontrar resultados mais conclusivos e que abrange mais populações (Yang et al., 2021).

Sudimac e Kuhn (2024) conduziram um experimento no qual um grupo de pessoas caminhou por uma hora na natureza enquanto o outro grupo caminhou, com a mesma duração de tempo, em um ambiente urbano. Os autores relataram que a caminhada na floresta causou um aumento em uma subregião do hipocampo, envolvida no processamento da memória, ao passo que após a caminhada urbana essa mesma região permaneceu estável. Isso implica um dos efeitos neurológicos que estar em contato com a natureza promove ao nosso cérebro. Além disso, outros estudos de neuroimagem demonstram que essa exposição à natureza modula a atividade cerebral de outras regiões, com a diminuição da atividade do córtex pré-frontal ventrolateral esquerdo e o giro superior temporal esquerdo, áreas envolvidas no processamento emocional e na regulação do estresse (Tost et al., 2019; Kramer et al., 2025).

Com a crescente urbanização, além de trazer vantagens para a melhoria na qualidade de vida das pessoas, também é um fator de risco comumente associado à saúde mental, como aumento nos níveis de ansiedade, transtornos de humor e depressão são mais propensos em acontecer em ambientes urbanos (Tost et al., 2015; Dimenstein e Siqueira, 2020; Yen e Huang, 2025).

Para atenuar esses efeitos, White et al. (2019) demonstraram que dedicar pelo menos 120 minutos semanais ao contato com ambientes naturais está associado a melhores indicadores de saúde física e mental, sugerindo um efeito de dose-resposta. De modo semelhante, Sheffield, Butler e Richardson (2022), em meta-análise, identificaram que a promoção da conexão com a natureza se relaciona diretamente ao aumento do bem-estar psicológico. Além dos efeitos individuais, Barragan-Jason et al. (2023) destacam que o fortalecimento do vínculo com a natureza pode estimular atitudes pró-ambientais, sugerindo

benefícios mútuos para a saúde humana e a conservação ambiental.

No entanto, não existe o contato com a natureza de forma igualmente para toda a população. Há limitações de desigualdade de acesso a esses ambientes, falta de segurança pública, contextos nos quais não é possível ir presencialmente a algum parque, em situações hospitalares, por exemplo, como também pessoas que moram em regiões isoladas (Anderson et al., 2017). Desse modo, a RV pode ser uma alternativa viável nesses contextos de difícil acesso à natureza real, bem como a fim de ter o propósito de incentivar a visitação de locais onde há natureza, principalmente em grandes centros urbanos.

2.3 NATUREZA SIMULADA EM REALIDADE VIRTUAL

A realidade virtual (RV) começou a ser desenvolvida na década de 1960, quando Ivan Sutherland publicou o primeiro trabalho sobre o assunto (Blanchard et al., 1990). Esse conceito sugere uma experiência imersiva em um ambiente digital, como se o indivíduo realmente estivesse presente, ao poder observá-lo em ângulos de 360 graus. Suas três principais características são a imersão, a presença e a interatividade. A RV diferencia-se de outros mecanismos de visualização em 3D por utilizar recursos que ampliam a sensação de realismo. Entre eles, o uso de óculos ou headsets de realidade virtual é o mais comum, mas não o único, uma vez que também é possível ter experiências em telas panorâmicas, cabines de simulação ou projeções interativas (Blanchard et al., 1990; Slater & Wilbur, 1997).

A tecnologia da realidade virtual pode simular ambientes altamente realistas, especialmente com a última geração de dispositivos de óculos RV. A realidade virtual propicia a simulação de diversos tipos de cenários virtuais de natureza, seja praias, ambientes montanhosos, florestas, desertos seja em vídeos ou imagens 360, ou até mesmo em jogos virtuais (Silva et al., 2020; Yin et al., 2022; Chan et al., 2023).

Além da simulação de ambientes naturais, a realidade virtual também tem sido utilizada em diferentes áreas, como na saúde, em treinamentos cirúrgicos, visualização de peças anatômicas, alívio de dores em pacientes oncológicos, amenização de sintomas de ansiedade e em processos de reabilitação (Gu e Wang, 2022). No entanto, um dos usos que mais se destaca está relacionado ao bem-estar psicológico, ao possibilitar o relaxamento, a melhora do humor e a redução do estresse por meio da exposição a cenários virtuais de natureza (Yang et al., 2021).

Em uma revisão sistemática realizada por Gaertner et al (2023), foram mostrados os efeitos restaurativos de ambientes naturais especificamente direcionados ao sistema nervoso autônomo, utilizando-se dos parâmetros da VFC. Os autores identificaram que, de maneira geral, os estudos apresentam grande variedade na metodologia empregada, com a presença ou ausência de estressores prévios à exposição ao ambiente virtual, os diferentes cenários de natureza utilizados, bem como os parâmetros relatados da VFC, o que dificulta a comparação entre os resultados. No entanto, embora haja uma heterogeneidade entre os estudos, foi possível observar uma melhoria geral na VFC durante a visualização desses cenários de natureza.

A realidade virtual destaca-se de outras tecnologias a partir da existência da presença e imersão. A imersão pode ser definida como a capacidade dos dispositivos RV de proporcionar uma experiência ilusória da realidade de forma abrangente, completa e vívida, sendo esse

aspecto importante no aumento do potencial restaurador do ambiente (Slater e Wilbur, 1997). A presença, está relacionada a uma sensação subjetiva do indivíduo, ou seja, é comum nessa tecnologia o indivíduo sentir como se estivesse no ambiente virtual, uma vez que a exploração do ambiente vai depender do direcionamento do usuário, seja nos movimentos de cabeça ou do corpo (Slater e Wilbur, 1997).

Além desses aspectos, a natureza apresentada em realidade virtual apresenta simulações multisensoriais, envolvendo aspectos áudio-visuais para promover uma maior imersão, especialmente em óculos RV, essa combinação garante maiores benefícios psicológicos aos indivíduos que passam por essa experiência (Browning et al., 2020). Por esse motivo existe um número crescente de estudos utilizando óculos RV para simular ambientes em realidade virtual (Browning et al., 2020).

Embora os benefícios do contato virtual com a natureza não substituem o contato com a natureza real, o uso dessa tecnologia pode beneficiar a saúde mental de estudantes e trabalhadores durante uma pausa em seus afazeres diários, promovendo um efeito restaurativo no bem-estar subjetivo, como Mattila et al (2020) demonstraram em seu estudo. Além disso, a exposição contínua desses ambientes naturais virtuais pode contribuir para redução dos sintomas de ansiedade em estudantes universitários (Browning et al., 2023).

2.4 VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA: BIOMARCADOR DO SISTEMA NERVOSO AUTÔNOMO

A variabilidade da frequência cardíaca (VFC) é um importante marcador psicofisiológico, amplamente utilizado em pesquisas que investigam a regulação autonômica e as respostas do corpo a diferentes estímulos internos e externos (Shaffer e Ginsberg, 2017). Trata-se de uma medida não invasiva que reflete a interação dinâmica entre os sistemas simpático e parassimpático do sistema nervoso autônomo (SNA), sendo considerada um biomarcador confiável da atividade desse sistema (McCraty e Shaffer, 2015; Shaffer e Ginsberg, 2017).

O SNA pode ser subdividido em três que atuam de forma complementar: o sistema nervoso simpático (SNS), parassimpático (SNP) e o sistema nervoso entérico (SNE). O SNS está relacionado a respostas de “luta ou fuga”, resultando em aceleração da frequência cardíaca, aumento da sudorese, dilatação pupilar e alterações gastrointestinais. Já o SNP está associado a processos de relaxamento, digestão e conservação de energia. O SNE, por sua vez, regula de forma relativamente autônoma a atividade do trato gastrointestinal, embora receba modulação dos demais ramos do SNA. Apesar de muitas vezes descritos como sistemas antagônicos, estudos apontam que SNS, SNP e SNE atuam de maneira coordenada, garantindo a manutenção da homeostase e a adaptação às demandas internas e ambientais (Benarroch, 2020).

A VFC é então considerada uma medida da função neurocardíaca que reflete as interações coração-cérebro e a dinâmica do sistema nervoso autônomo. Assim, um bom nível de variabilidade no sistema regulatório do organismo indica uma flexibilidade e adaptabilidade ou resiliência que otimiza uma função saudável e bem-estar. Enquanto muita instabilidade é ruim para uma utilização de energia e funcionamento fisiológico eficiente, enquanto pouca variação pode indicar alguma patologia (Shaffer et al., 2014).

A VFC pode ser calculada usando os domínios de tempo, frequência e não-lineares, sendo as de frequência e de tempo as mais utilizadas na literatura (Shaffer e Ginsberg, 2017). Abaixo encontram-se algumas métricas comumente usadas em pesquisas sobre VFC e suas respectivas definições.

Domínio	Métrica	Descrição
Tempo	SDNN	Desvio-padrão da média dos intervalos R-R dos batimentos consecutivos, indicador de atividade simpática e parassimpática, mas destaca-se a parassimpática em registros curtos de tempo.
Tempo	RMSSD	Raiz quadrada da média dos quadrados das diferenças entre intervalos R-R consecutivos, indicador da atividade vagal.
Frequência	LF	Potência absoluta da banda de baixa frequência (0,04–0,15 Hz), associada à regulação barorreflexa.
Frequência	HF	Potência absoluta da banda de alta frequência (0,15–0,40 Hz), relacionada à atividade parassimpática.
Frequência	LF/HF	Razão da potência LF para HF, tradicionalmente interpretada como indicador do balanço simpático-parassimpático.

Cabe salientar que a interpretação fisiológica das bandas LF e da razão LF/HF ainda carece de consenso na literatura. Inicialmente, acreditava-se que o componente LF refletia predominantemente a atividade simpática, no entanto, evidências mais robustas indicam que ele resulta da interação entre os sistemas nervosos simpático e parassimpático (Billman, 2013; Deo et al., 2018). Diante disso, o índice LF/HF tem sido considerado uma medida pouco confiável para avaliar o equilíbrio autonômico, e seu uso vem sendo progressivamente desencorajado por diversos pesquisadores (Billman, 2013).

É importante entender a diferença entre a banda LF e HF. Enquanto o HF reflete o ritmo sinusal respiratório, o LF está relacionado com a regulação barorreflexa, sendo responsável por regular a pressão arterial. Dessa forma, quando há um índice mais elevado de HF significa que o indivíduo apresenta uma respiração lenta e controlada, ao passo que sua diminuição representa níveis de estresse, com respiração superficial e rápida, portanto, o HF é representado fielmente a atividade parassimpática do SNA (Shaffer et al., 2014).

Além da escolha das métricas, o tempo de mensuração da VFC é um fator crucial para a confiabilidade dos resultados. A Task Force of the European Society of Cardiology e da North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996) recomenda que registros curtos, de aproximadamente 5 minutos, são adequados e amplamente aceitos na literatura para a análise de índices no domínio do tempo e da frequência. Esse protocolo é considerado suficiente para avaliar a atividade autonômica em condições controladas, enquanto registros de 24 horas são

indicados para investigações de longo prazo em contextos clínicos (Shaffer et al., 2014). Assim, a utilização de detecções curtas neste estudo segue o padrão metodológico internacionalmente reconhecido.

Revisões da literatura apontam que estados negativos de humor estão associados diretamente com a redução da atividade do SNP, demonstrados pela diminuição do RMSSD, SDNN e HF (Gullet et al., 2023). Da mesma forma, a redução crônica da atividade parassimpática pode estar relacionada com o desenvolvimento de transtornos como a depressão, impactando diretamente outros sistemas fisiológicos, a exemplo do sistema imune no qual há um aumento de produção de citocinas pró-inflamatórias (Williams et al., 2019).

A VFC tem sido usada como índice de regulação autonômica em estudos que avaliam o aspecto restaurativo da exposição à natureza virtual (Scott et al., 2021; Gaertner et al., 2023; Aras et al., 2024). Pesquisas recentes têm evidenciado o potencial da realidade virtual (VR) como recurso de promoção de bem-estar psicológico e fisiológico. Em uma revisão sistemática, Riches et al. (2023) destacam que intervenções de relaxamento em RV apresentam efeitos positivos consistentes para pessoas com condições de saúde mental, reduzindo sintomas de estresse e ansiedade e favorecendo a regulação emocional. De forma complementar, Chan et al. (2023) demonstraram que caminhadas em florestas virtuais não apenas diminuíram o afeto negativo e o estresse em jovens adultos, mas também aumentaram o afeto positivo em idosos, sugerindo a VR como alternativa segura e acessível de contato com a natureza em populações diversas. Esses achados se conectam com as discussões de Arakaki et al. (2022), que revisaram a relação entre a variabilidade da frequência cardíaca (VFC), saúde neurológica e cognição, apontando a VFC como marcador relevante de funções executivas, regulação emocional e resiliência ao estresse. Assim, o uso da RV para simular experiências naturais pode impactar tanto dimensões emocionais quanto fisiológicas, promovendo relaxamento e restaurando funções cognitivas por meio da modulação autonômica captada pela VFC.

Para a medição da VFC geralmente utiliza-se o eletrocardiograma (ECG), no entanto, para fins de pesquisas científicas, esse aparelho frequentemente possui um custo elevado e limitações de portabilidade. Como uma alternativa viável, algumas marcas esportivas desenvolveram dispositivos portáteis capazes de medir tanto a VFC quanto a frequência cardíaca. Dessa forma, o Polar é uma cinta torácica amplamente utilizada em pesquisas psicofisiológicas pela sua praticidade e acurácia, a partir de estudos que confirmam a validade do uso desses sensores em comparação com equipamentos tradicionais de eletrocardiografia padrão-ouro, tanto em atividades físicas quanto em repouso (Hernández-Vicente et al., 2021; Schaffarczyk et al., 2022).

CAPÍTULO III

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização e delineamento do estudo

O presente estudo caracteriza-se por ser experimental, cruzado e de caráter transversal, com controle de ordem por meio de contrabalanceamento.

3.2 Elegibilidade

Participaram da pesquisa estudantes universitários, com idade entre 18 e 30 anos, recrutados por meio de divulgação online (Instagram) e distribuição de panfletos com QR Code em espaços da Universidade Federal da Paraíba. Foram incluídos indivíduos regularmente matriculados em cursos de graduação ou pós-graduação, que manifestaram interesse voluntário em participar do experimento. Não houve exclusão com base em histórico de saúde física ou mental, tampouco em relação ao uso de medicamentos, uma vez que o estudo teve caráter exploratório e visou refletir a diversidade real da população universitária.

3.3 Aspectos éticos

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal da Paraíba, conforme parecer nº 79203324.7.0000.5188, atendendo às diretrizes da Resolução nº 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde. Todos os participantes foram informados sobre os objetivos da pesquisa, procedimentos, riscos e benefícios, e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) antes do início da participação.

3.4 Instrumentos utilizados

3.4.1 Medidas fisiológicas

A variabilidade da frequência cardíaca (VFC) foi registrada por meio da cinta torácica Polar® H10 durante todas as fases do experimento. O dispositivo permite conectividade via Bluetooth para transmissão de dados, sendo utilizado em conjunto com o aplicativo Elite HRV, empregado para a coleta dos parâmetros frequência cardíaca (HR), RMSSD, SDNN, LF e HF, indicadores amplamente utilizados na análise da modulação autonômica cardíaca.¹

¹ Disponível em: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.elitehrv.app&hl=pt_BR.

3.4.2 Medidas psicológicas

Os participantes foram convidados a responder ao questionário sociodemográfico e um conjunto de instrumentos psicológicos previamente validados no contexto brasileiro. As escalas foram aplicadas por meio de um formulário eletrônico (*Google Forms*), acessado diretamente no computador do laboratório.

A Escala de Autocompaixão (SCS), desenvolvida por Neff (2003) e validada no Brasil por Souza e Hutz (2016), avalia a capacidade do indivíduo de adotar uma postura gentil e compreensiva consigo mesmo em momentos de sofrimento. É composta por 26 itens distribuídos em seis dimensões: autobondade, autocrítica, humanidade compartilhada, isolamento, atenção plena e superidentificação. Cada item é respondido através de uma escala Likert de 5 pontos (1 = Quase nunca; 5 = Quase sempre) e contém uma consistência interna excelente ($\alpha = 0,92$).

A Escala de Depressão, Ansiedade e Estresse (DASS-21), adaptada para o Brasil por Vignola e Tucci (2014), é composta por 21 itens divididos igualmente entre as três dimensões do sofrimento emocional. Trata-se da versão reduzida da DASS de 42 itens (Lovibond & Lovibond, 2004). As respostas seguem uma escala Likert de 4 pontos (0 = Não se aplica em nenhuma parte do tempo; 3 = Se aplica à maior parte do tempo). A escala apresenta boa consistência interna para cada subescala ($\alpha = 0,92$ para depressão; $\alpha = 0,90$ para estresse; $\alpha = 0,86$ para ansiedade).

A Escala de Atenção Plena (MAAS), validada por Barros et al. (2015), mede a tendência à consciência e atenção ao momento presente em atividades rotineiras. Possui $\alpha = 0,83$ indicando validade e confiabilidade satisfatórias no estudo. Essa escala apresenta 15 itens dentro dos quais é possível o participante responder de 1 (Quase sempre) a 6 (Quase nunca).

A Escala de Conexão com a Natureza (ECN), adaptada por Pessoa et al. (2016), é composta por 14 itens e investiga o grau de identificação afetiva e cognitiva do indivíduo com o ambiente natural. Cada item é respondido em uma escala Likert de 5 pontos (1 = Discordo totalmente e 5 = Concordo totalmente) ($\alpha = 0,82$).

Por fim, a Escala de Satisfação com a Vida (SWLS), validada por Zanon et al. (2014), possui 5 itens e avalia o componente cognitivo do bem-estar subjetivo, oferecendo uma medida global da percepção de qualidade de vida do indivíduo. Dessa forma, cada pergunta é respondida em uma escala Likert de 7 pontos (1 = Discordo totalmente e 7 = Concordo totalmente) e apresenta alta consistência interna ($\alpha = 0,87$).

Esses instrumentos foram selecionados por sua robustez psicométrica, relevância teórica e adequação ao público-alvo, permitindo uma avaliação das variáveis subjetivas, complementar aos parâmetros fisiológicos.

3.4.3 Intervenção em realidade virtual

Com o objetivo de promover uma resposta autonômica restaurativa, foi utilizado o

dispositivo de realidade virtual Meta® Quest 2 (figura 1) para acessar o jogo *Nature Treks VR*. Esse jogo apresenta uma tela inicial na qual é possível selecionar diferentes cenários naturais, como oceano, savana, cachoeira, praia ou florestas. Para este estudo, optou-se pelo cenário *Green Meadows* (figura 2), caracterizado por uma floresta de campo aberto com sons ambientes e estímulos visuais de vegetação e presença de fauna. O ambiente permite tanto a exploração visual quanto a locomoção do usuário, além da interação com elementos do cenário, como a inserção de árvores e borboletas, bem como a modificação de condições meteorológicas, incluindo alternância entre chuva, sol, dia ou noite. Essas opções de interação buscaram maximizar a sensação de imersão e de contato com a natureza em ambiente virtual.

Figura 1 e 2. Modelo de óculos RV utilizado na pesquisa. Print do cenário *Green Meadows* do *Nature Treks VR*.



Fonte: Meta e *Nature Treks VR*.

3.5 Procedimento experimental

As sessões foram realizadas individualmente no Laboratório de Ecologia Comportamental e Psicobiologia (LECOPSI) da UFPB. Após a recepção, os participantes acessavam um formulário eletrônico do Google Forms contendo o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), no qual assinalavam sua concordância em participar do estudo. Somente após o aceite do TCLE, o participante era instruído sobre os procedimentos experimentais e o uso dos equipamentos. A cinta torácica Polar® H10, utilizada para o registro contínuo da variabilidade da frequência cardíaca (VFC), era posicionada no início do experimento e permanecia com o participante durante todo o protocolo, permitindo o monitoramento fisiológico contínuo.

O experimento foi composto pelas seguintes etapas:

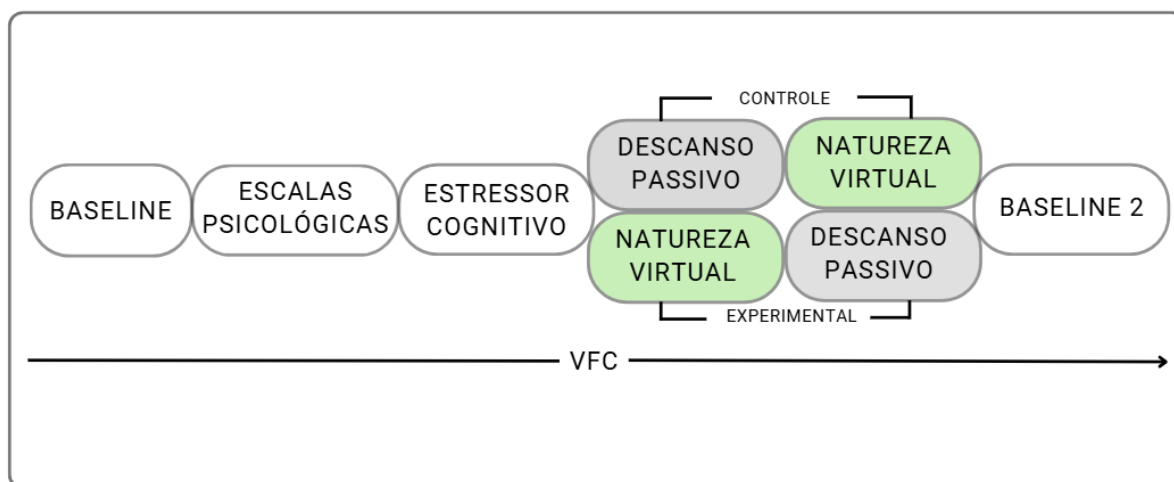
- Baseline: coleta de VFC por 6 minutos, com o participante em posição sentada, olhos fechados e em silêncio.
- Preenchimento das escalas psicológicas em formulário digital (Google Forms), no computador do laboratório, contendo os instrumentos descritos no item 3.4.2
- Estressor cognitivo: tarefa de subtração em série (por exemplo, subtrair 7 a partir de 532) por 5 minutos, conduzida pela pesquisadora responsável. Antes do início, o participante recebia instruções padronizadas para realizar subtrações consecutivas em intervalos de sete unidades, sem auxílio externo, sendo informado de que, em caso de

erro, deveria reiniciar a sequência a partir do número inicial. Essa orientação visava induzir pressão cognitiva e emocional leve, garantindo padronização do estressor entre os participantes. Intervenções (delineamento cruzado): Os participantes foram distribuídos aleatoriamente em dois grupos com ordem invertida de exposição:

- Grupo Experimental: primeiro experienciou o cenário *Green Meadows* no *Nature Treks VR*, utilizando os óculos Meta Quest 2, durante 6 minutos; em seguida, permaneceu em descanso passivo (olhos fechados) por mais 6 minutos.
- Grupo Controle: realizou o percurso inverso. Primeiro o descanso passivo, seguido da exposição à natureza virtual, ambos com a mesma duração (6 minutos cada).
- Baseline 2: registro de VFC pós-intervenção, para avaliar retorno ao estado basal.

Durante todo o experimento, a VFC foi registrada ininterruptamente pela cinta torácica Polar H10, abrangendo as fases de repouso, estresse, intervenção e recuperação. É possível observar todas as etapas representadas na figura 3 abaixo.

Figura 3. Protocolo experimental



Nota. Sequência das etapas do experimento, incluindo baseline inicial, aplicação das escalas psicológicas, indução do estressor cognitivo e intervenções em delineamento cruzado, com alternância entre as condições de descanso passivo e exposição à natureza virtual (*Nature Treks VR*). A variabilidade da frequência cardíaca (VFC) foi monitorada continuamente do início ao fim do protocolo.

3.6 Análise de dados

As análises estatísticas foram conduzidas com o objetivo de investigar os efeitos restaurativos da realidade virtual com natureza sobre parâmetros fisiológicos, bem como explorar as relações entre essas respostas fisiológicas e variáveis psicológicas. A tabulação dos dados foi realizada no Microsoft Excel, extraindo-se as médias dos parâmetros fisiológicos de todas as etapas do experimento a partir dos arquivos processados no Kubios HRV Scientific (versão 4.1). Esse software foi utilizado para a inspeção visual dos intervalos R–R, cálculo dos

índices de VFC e aplicação do filtro médio de correção de artefatos, conforme as recomendações do próprio programa para dados obtidos por cinta torácica. As análises estatísticas inferenciais subsequentes foram conduzidas no Jamovi (versão 2.6).

Inicialmente, foi realizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk para todas as variáveis fisiológicas, o qual indicou que a maior parte dos dados apresentava distribuição não normal. Em razão disso, optou-se por utilizar testes estatísticos não paramétricos nas comparações subsequentes.

Para avaliar diferenças intergrupos na resposta fisiológica ao experimento (efeito restaurativo), foi aplicado o teste de Mann-Whitney, com foco nas variáveis de frequência cardíaca e variabilidade da frequência cardíaca (VFC) antes e após as intervenções.

As variáveis de frequência (LF e HF) foram expressas em unidades normalizadas (n.u.) com o objetivo de reduzir o efeito de variações na potência total e facilitar a comparação entre indivíduos e condições experimentais. Essa forma de normalização permite evidenciar o balanço relativo entre os componentes simpático e parassimpático, sendo recomendada quando se avaliam mudanças dinâmicas na modulação autonômica (Task Force, 1996).

Na sequência, foram realizadas análises intra-grupos, considerando a comparação dos momentos pré e pós-intervenção para cada grupo separadamente. Para isso, foram utilizados modelos lineares mistos, com o objetivo de considerar a dependência entre as medidas repetidas dentro dos indivíduos e a estrutura cruzada do delineamento experimental. Os modelos permitiram observar as variações fisiológicas ao longo do tempo e entre condições, ajustando para possíveis variabilidades individuais.

Além disso, com o intuito de investigar as relações entre características psicológicas e os efeitos fisiológicos observados, foram realizados testes de correlação de Spearman entre os escores das escalas psicológicas, obtidos durante o baseline (autocompaixão, depressão, ansiedade, estresse, atenção plena, conexão com a natureza e satisfação com a vida), e os deltas restaurativos calculados para cada participante. Os deltas foram definidos como a diferença entre os valores obtidos antes e depois das intervenções, permitindo avaliar o grau de mudança fisiológica induzida por cada condição.

Em todas as análises foi adotado um nível de significância de $p < 0,05$. Os tamanhos de efeito foram calculados sempre que aplicável, utilizando o Cohen's d para comparações de médias e o coeficiente r de Spearman para as análises correlacionais, a fim de complementar a interpretação dos resultados com base na magnitude dos efeitos observados.

Para fins de transparência e ciência aberta, todos os dados utilizados nas análises estatísticas estão disponíveis publicamente na plataforma Open Science Framework (OSF), no link: <https://osf.io/cjrzy/>. Para garantir a privacidade dos participantes, nenhuma informação identificável foi incluída.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Participantes

O estudo contou com a participação de 39 estudantes universitários (61% do sexo feminino), sendo 29 de graduação e 10 de pós-graduação. Os participantes foram alocados aleatoriamente entre os grupos experimental ($n = 19$) e controle ($n = 20$). A idade média da amostra foi de 22,59 anos ($DP = 2,83$). A maioria dos voluntários era destra ($n = 31$), e aproximadamente um terço relatou estar em acompanhamento psicológico ($n = 12$) ou fazer uso de medicação para sintomas psicológicos ($n = 10$), conforme apresentado em tabela 1.

Tabela 1. Caracterização dos participantes

Variável	Valor
Total de participantes	39
Idade (média $\pm$ DP)	22.59 $\pm$ 2.83
Sexo (F/M)	24/15
Grupo Experimental	19
Grupo Controle	20
Psicoterapia	12
Uso de medicação	10
Destros	31
Uso prévio VR	16
Graduandos	29
Pós-graduandos	10

4.2 Comparação entre grupos

A análise da resposta autonômica ao estressor (Tabela 2) indicou proporções semelhantes de *responders* e *non-responders* entre os grupos, sem diferenças significativas. Apesar da ausência de efeito estatístico, nota-se uma tendência de maior recuperação autonômica entre os participantes do grupo experimental, o que pode sugerir benefício potencial da exposição à natureza virtual.

Tabela 2. Proporção de participantes que se recuperaram após a fase estressora nos grupos Experimental e Controle

Análise	Grupo	Recuperou n (%)	Não recuperou n (%)	χ^2 (gl=1)	p	pFisher
---------	-------	--------------------	---------------------------	-----------------	---	---------

Todos os participantes (N=39)	Controle (n=20)	14 (70,0%)	6 (30,0%)	0.205	.651	.741
	Experimental (n=19)	12 (63,2%)	7 (36,8%)			
Apenas responders (N=10)	Controle (n=8)	6 (75,0%)	2 (25,0%)	0.625	.429	1.000
	Experimental (n=2)	2 (100,0%)	0 (0,0%)			

Nota. Responder = queda inicial no RMSSD na fase estressora. Recuperou = aumento subsequente do RMSSD após a intervenção

A comparação entre os grupos experimental e controle nos deltas restaurativos imediato e sustentado não revelou diferenças estatisticamente significativas para RMSSD e SDNN, como é possível observar na tabela 3. Nas medidas espectrais em unidades normalizadas, os valores de LF ($U = 121$, $p = 0,054$, $r = 0,36$) e de HF ($U = 122$, $p = 0,057$, $r = -0,36$) não atingiram significância estatística. A única diferença significativa entre os grupos foi observada no delta imediato da frequência cardíaca (HR), com maior redução no grupo experimental em comparação ao controle ($U = 117$, $p = 0,041$, $r = -0,38$). Nenhuma das variáveis apresentou diferenças sustentadas entre os grupos na fase final.

Tabela 3. Diferença entre grupos (Experimental vs Controle) nos deltas restaurativos imediato e sustentado para RMSSD, SDNN, LF, HF e HR

Variável	Delta	Experimental Mediana [AIQ]	Controle Mediana [AIQ]	U	p	r
RMSSD	Imediato	1,41 [10,62]	2,48 [10,96]	159	0,396	-0,163
RMSSD	Sustentado	-1,92 [9,22]	0,20 [11,15]	121	0,134	-0,292
SDNN	Imediato	-6,30 [10,80]	-6,45 [15,63]	142	0,184	-0,253
SDNN	Sustentado	-4,89 [12,18]	-0,49 [10,91]	136	0,298	-0,205

LF (n.u.)	Imediato	-0,40 [13,61]	-7,89 [11,69]	121	0,054	0,363
LF (n.u.)	Sustentado	-2,34 [14,57]	-2,29 [16,35]	155	0,641	0,094
HF (n.u.)	Imediato	0,34 [13,58]	7,80 [11,71]	122	0,057	-0,358
HF (n.u.)	Sustentado	2,31 [14,55]	2,38 [16,35]	152	0,578	-0,111
HR	Imediato	-7,02 [4,31]	-3,55 [6,66]	117	0,041*	-0,384
HR	Sustentado	-6,70 [5,04]	-2,65 [7,15]	116	0,098	-0,322

Nota. U = teste de Mann–Whitney; p = nível de significância; r = tamanho do efeito. * $p < 0,05$.

Foi conduzida uma análise de covariância (ANCOVA) para comparar o RMSSD durante a fase estressora entre os grupos experimental e controle, utilizando o RMSSD da fase *Forms* como covariável, conforme tabela 4. O efeito de grupo não foi estatisticamente significativo, $F(1,36) = 3.50$, $p = 0.069$. No entanto, o tamanho de efeito ($\eta^2p = 0.089$) indicou que aproximadamente 9% da variabilidade do RMSSD no estressor foi explicada pela variável grupo, após o ajuste pelo valor prévio. As médias ajustadas sugeriram valores mais elevados de RMSSD para o grupo experimental em comparação ao controle, o que pode indicar um padrão distinto de resposta autonômica ao estressor, ainda que essa diferença não tenha alcançado significância estatística.

Tabela 4. ANCOVA para comparação das respostas de RMSSD durante a fase estressora entre grupos, controlando RMSSD na fase *Forms*

Variável dependente	Grupo	Covariável	F(1,36)	p	η^2p
RMSSD-Estressor	Grupo Experimental vs Controle	RMSSD-Forms	3.50	0.069	0.089

Nota. Valores apresentados correspondem à ANCOVA com RMSSD-Forms como covariável. η^2p = tamanho de efeito.

4.3 Comparação entre etapas (intra-grupo)

A comparação entre os grupos experimental e controle não revelou diferenças estatisticamente significativas na maioria dos deltas de variabilidade da frequência cardíaca (VFC) analisados ($p > 0,05$). Para RMSSD e SDNN, tanto no delta imediato quanto no sustentado, os valores foram semelhantes entre os grupos. Da mesma forma, as medidas espectrais (LF e HF) apresentaram padrões comparáveis entre experimental e controle. Embora os valores de LF e HF tenham indicado variações entre os grupos no delta imediato, essas diferenças não atingiram significância estatística ($p = 0,089$). Assim, de forma geral, os resultados não evidenciam diferenças robustas na recuperação autonômica entre os grupos, como pode ser visto na tabela 5.

Tabela 5. Diferença entre grupos (Controle vs. Experimental) nos deltas de variabilidade da frequência cardíaca (VFC) em diferentes etapas do protocolo

Variável	Controle Mediana (AIQ)	Experimental Mediana (AIQ)	U	p	r
Delta-RMSSD-Imediato	8.124 (7.960)	2.354 (0.172)	4.00	0.400	-0.500
Delta-RMSSD-Sustentado	6.027 (11.110)	4.461 (1.057)	6.00	0.889	-0.143
Delta-SDNN-Imediato	-0.231 (10.025)	0.854 (3.082)	8.00	1.000	0.000
Delta-SDNN-Sustentado	3.970 (11.427)	10.034 (1.880)	3.00	0.333	0.571
Delta-HR-Imediato	-9.393 (11.020)	-7.806 (0.480)	8.00	1.000	0.000
Delta-HR-Sustentado	-12.429 (12.250)	-7.412 (0.495)	6.00	0.889	0.143
Delta-LF-Sustentado	-3.782 (15.079)	4.384 (7.489)	4.00	0.500	0.429
Delta-HF-Sustentado	3.857 (15.000)	-4.398 (7.485)	4.00	0.500	-0.429
Delta-LF-Imediato	-5.051 (25.862)	8.530 (5.101)	1.00	0.089	0.875

Delta-HF-Imediato	5.023 (25.655)	-8.680 (5.241)	1.00	0.089	-0.875
-------------------	----------------	----------------	------	-------	--------

Nota. U = teste de Mann–Whitney; p = nível de significância; r = tamanho do efeito.

A análise intragrupo revelou que, em ambos os grupos, a fase de preenchimento dos formulários (Forms) esteve associada a maior estresse fisiológico em comparação às demais etapas. No grupo experimental, o RMSSD foi significativamente menor em Forms (Mediana = 21,6 ms) em comparação ao Baseline (Mediana = 27,2 ms; $W = 45$, $p = 0,049$) e ao Estressor (Mediana = 33,1 ms; $W = 19$, $p < 0,001$), não havendo diferença significativa entre Baseline e Estressor ($p = 0,087$). No grupo controle, o mesmo padrão foi observado: o RMSSD em Forms (Mediana = 32,1 ms) foi inferior ao Baseline (Mediana = 39,7 ms; $W = 47$, $p = 0,007$) e ao Estressor (Mediana = 36,2 ms; $W = 68$, $p = 0,044$), sem diferença entre Baseline e Estressor ($p = 0,546$). Esses achados reforçam que a fase Forms foi consistentemente a mais estressante em termos de redução da variabilidade cardíaca, conforme exibido na tabela 6.

Outros índices corroboraram esse padrão. No grupo experimental, o SDNN foi significativamente menor em Forms (Mediana = 26,8 ms) em comparação ao Estressor (Mediana = 36,1 ms; $W = 29$, $p = 0,003$), sugerindo maior variabilidade global durante o estressor em relação ao momento inicial de autorrelato. Ainda no domínio da frequência, observou-se aumento de LF em unidades normalizadas do Forms (Mediana = 52,1) para o Estressor (Mediana = 61,8; $W = 34$, $p = 0,023$), enquanto a componente de HF em n.u. apresentou redução do Baseline (Mediana = 43,5) para o Forms (Mediana = 33,1; $W = 32$, $p = 0,021$). No grupo controle, a mesma queda significativa de HF foi encontrada do Baseline (Mediana = 41,9) para o Forms (Mediana = 35,5; $W = 50$, $p = 0,041$), indicando redução da atividade parassimpática nessa etapa.

Além disso, a frequência cardíaca (HR) aumentou significativamente no grupo controle do Baseline (Mediana = 76 bpm) para o Forms (Mediana = 82 bpm; $W = 20$, $p = 0,002$), reforçando o padrão de maior ativação autonômica durante o preenchimento dos questionários.

Tabela 6. Comparação intragrupo entre fases (Baseline, Forms e Estressor) nos grupos Experimental e Controle (teste de Wilcoxon)

Variável	Grupo	Comparação	Mediana 1	Mediana 2	W	p
RMSSD	Experimental	Forms vs Baseline	21,6	27,2	45.0	0,049
RMSSD	Experimental	Forms vs Estressor	21,6	33,1	19.0	<0,001
RMSSD	Experimental	Baseline vs Estressor	27,2	33,1	78.0	0,087

RMSSD	Controle	Forms vs Baseline	32,1	39,7	47.0	0,007
RMSSD	Controle	Forms vs Estressor	32,1	36,2	68.0	0,044
RMSSD	Controle	Baseline vs Estressor	39,7	36,2	90.0	0,546
SDNN	Experimental	Forms vs Estressor	26,8	36,1	29.0	0,003
LF (n.u.)	Experimental	Forms vs Estressor	52,1	61,8	34.0	0,023
HF (n.u.)	Experimental	Baseline vs Forms	43,5	33,1	32.0	0,021
HF (n.u.)	Controle	Baseline vs Forms	41,9	35,5	50.0	0,041
HR (bpm)	Controle	Baseline vs Forms	76,0	82,0	20.0	0,002

Nota. W = Teste de wilcoxon. p = nível de significância.

4.4 Modelos lineares mistos (etapa x grupo)

Inicialmente, as comparações entre grupos foram realizadas por meio do teste de Mann–Whitney aplicado aos deltas imediatos e sustentados. Observou-se diferença significativa apenas na frequência cardíaca imediata ($p = 0,041$), sugerindo maior aceleração cardíaca no grupo experimental em comparação ao controle.

Entretanto, como esse teste avalia momentos pontuais de forma independente, aplicamos também modelos lineares mistos, que permitem analisar simultaneamente o efeito do tempo (etapas do protocolo), do grupo e da interação grupo $\times$ tempo.

Dessa forma, a análise por modelos lineares mistos mostrou que houve diferença significativa ao longo das fases do experimento ($F(5,165) = 9.42$, $p < .001$), indicando que o estressor e as etapas subsequentes produziram mudanças na variabilidade cardíaca (RMSSD). Especificamente, observou-se uma redução significativa do RMSSD na fase dos formulários em comparação ao baseline ($p = .001$), sugerindo que essa etapa foi percebida como mais estressante. Em seguida, houve um aumento significativo do RMSSD na fase do jogo em comparação ao baseline ($p = .002$), o que indica recuperação autonômica (tabela 7).

No entanto, a interação Grupo $\times$ Etapa não foi significativa ($p = .359$), sugerindo que a recuperação observada ocorreu de forma semelhante tanto no grupo experimental (exposto à realidade virtual) quanto no grupo controle (repouso passivo). Assim, embora o jogo em realidade virtual tenha mostrado efeito restaurativo, o descanso passivo do grupo controle também promoveu melhora, não sendo possível afirmar estatisticamente que o VR foi superior ao descanso passivo (ver tabela 8).

Tabela 7. Resultados do Modelo Linear Misto (RMSSD como variável dependente)

Efeito	F	gl (num)	gl (res)	p	η^2 parcial
Grupo	3.25	1	37.4	0.079	—
Etapa (tempo)	9.42	5	165.1	<.001	—
Grupo $\times$ Etapa	1.10	4	165.1	0.359	—

Contrastes de Etapa (referência = baseline)	Estimativa	SE	IC 95% (Inferior – Superior)	p
Estressor – Baseline	+2.76	1.66	-0.52 a 6.03	0.098
Forms – Baseline	-5.42	1.66	-8.69 a -2.15	0.001
Natureza virtual – Baseline	+5.16	1.66	+1.89 a +8.43	0.002
Descaso passivo – Baseline	+1.68	2.32	-2.89 a 6.25	0.469
Baseline 2 – Baseline	+2.09	1.69	-1.23 a 5.42	0.215

Nota. Resultados do modelo linear misto (LMM) para o RMSSD, com fatores Grupo (Experimental vs. Controle) e Etapa (Baseline, Forms, Estressor, Jogo, Repouso Passivo, Final). Foram incluídos efeitos principais e interação Grupo $\times$ Etapa. Os contrastes foram calculados tomando a fase Baseline como referência. F = estatística F do modelo; gl (num) = graus de liberdade do numerador; gl (res) = graus de liberdade do resíduo; SE = erro padrão; IC 95% = intervalo de confiança de 95%; η^2 parcial = tamanho do efeito.

Tabela 8. Resultados dos Modelos Mistos para Variáveis Fisiológicas de acordo com o Baseline

Variável	Efeito Grupo (Exp vs Ctrl)	Efeito Etapa (tempo)	Interação Grupo $\times$ Etapa	Principais diferenças entre etapas
----------	----------------------------	----------------------	--------------------------------	------------------------------------

RMSSD	ns (p = 0.079)	Significativo (p < .001)	ns (p = 0.359)	Estressor > baseline (p = 0.098), Natureza virtual > baseline (p = 0.002), Forms < baseline (p = 0.001)
SDNN	ns (p = 0.147)	Significativo (p < .001)	ns (p = 0.593)	Estressor > baseline (p = 0.001), Final > baseline (p = 0.016), Forms < baseline (p = 0.043), Natureza virtual > baseline (p = 0.002), Repouso passivo > baseline (p = 0.034)
LF (ms²)	ns (p = 0.235)	Significativo (p < .001)	ns (p = 0.774)	Estressor > baseline (p = 0.090), Repouso passivo > baseline (p = 0.009)
LF (n.u.)	ns (p = 0.363)	Significativo (p < .001)	ns (p = 0.327)	Estressor > baseline (p = 0.004), Repouso passivo > baseline (p = 0.045)
HF (ms²)	Significativo (p = 0.041) – Experimental < Controle	Significativo (p < .001)	ns (p = 0.094)	Forms < baseline (p < .001), Interação grupo × forms (p = 0.019)
HF (n.u.)	ns (p = 0.375)	Significativo (p < .001)	ns (p = 0.340)	Estressor < baseline (p = 0.003), Forms < baseline (p < .001), Baseline 2 e Jogo ≈ baseline
HR (bpm)	ns (p = 0.551)	Significativo (p < .001)	ns (p = 0.676)	HR ↑ no estressor e forms; HR ↓ no jogo e final; repouso passivo ≈ baseline

Nota. ns = não significativo

A fim de ilustrar as variações ao longo das etapas experimentais entre os grupos, os gráficos a seguir apresentam a evolução dos principais índices fisiológicos: RMSSD, HF e frequência cardíaca (HR), conforme consta nas figuras 4, 5 e 6. Os valores representados correspondem às médias de cada grupo por etapa, acompanhados de suas respectivas barras de erro (erro-padrão da média), destacando as principais diferenças observadas nos modelos estatísticos.

Figura 4. Variação do RMSSD por etapa e grupo (Controle vs Experimental)

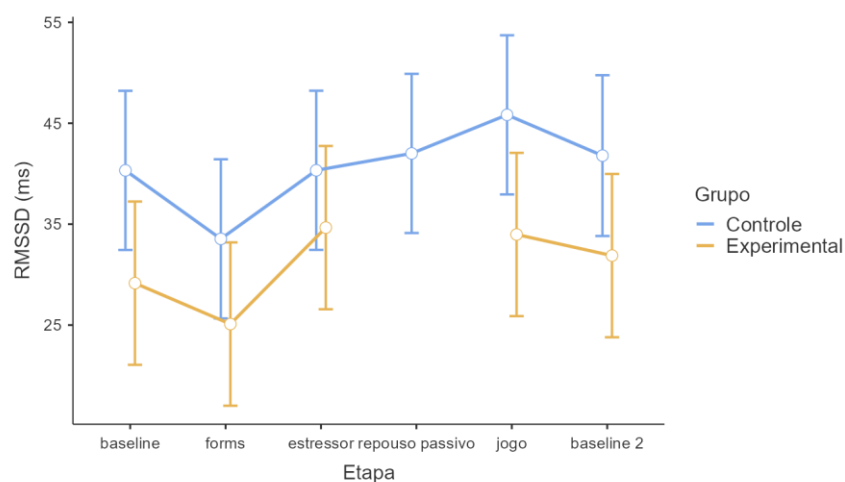


Figura 5. Variação do HF por etapa e grupo (Controle vs Experimental)

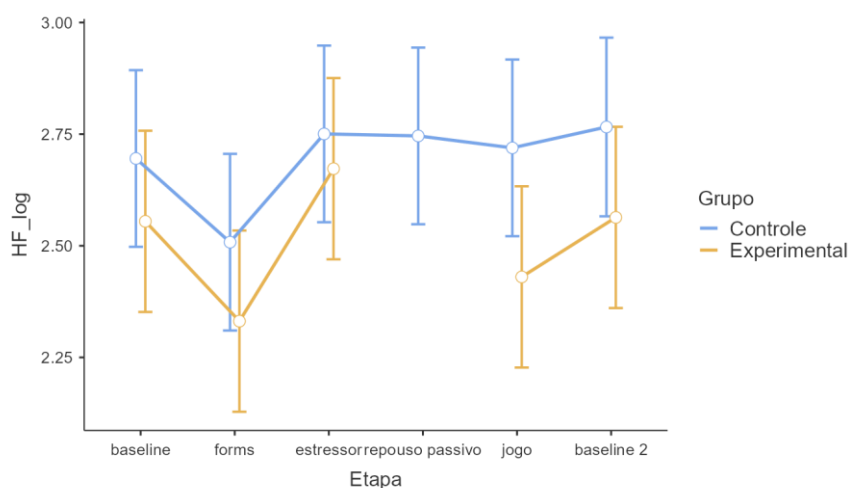
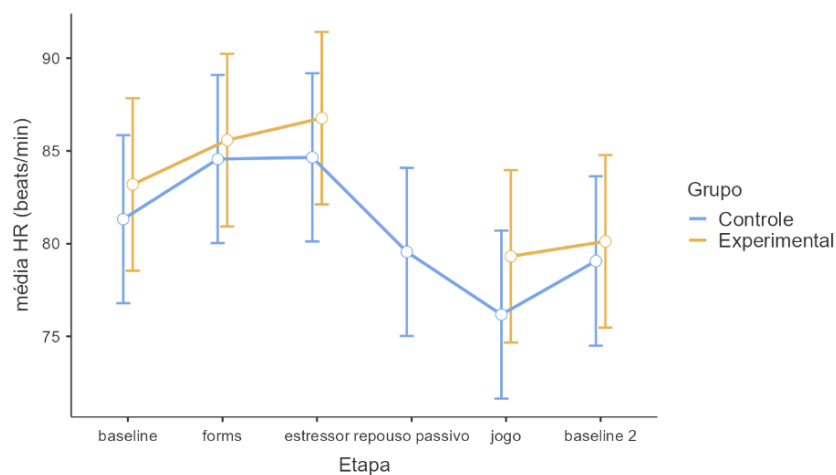


Figura 6. Variação da frequência cardíaca média por etapa e grupo (Controle vs Experimental)



Nota. Evolução dos parâmetros fisiológicos ao longo das etapas do experimento, separados por grupo (Experimental vs Controle). As barras representam o erro-padrão.

Os modelos lineares mistos indicaram que não houve efeito consistente de grupo (experimental vs. controle) para a maioria dos parâmetros de variabilidade cardíaca (RMSSD,

SDNN, LF absoluto e normalizado, HF normalizado, e frequência cardíaca), exceto para o HF em valores absolutos, no qual o grupo experimental apresentou valores significativamente menores que o controle ($p = 0,041$). Em contrapartida, foi observado efeito robusto do fator tempo em todas as variáveis fisiológicas ($p < 0,001$), confirmando a indução do estresse e subsequente recuperação autonômica ao longo do experimento. Especificamente, HR aumentou nas fases de estressor e formulários e reduziu no jogo e final; LF e HF apresentaram mudanças esperadas entre baseline, estressor e fases de recuperação; e tanto RMSSD quanto SDNN acompanharam o padrão de aumento após estressor e redução em algumas fases. A interação grupo $\times$ tempo não foi significativa em nenhum desfecho, sugerindo que os padrões de resposta autonômica foram similares entre os grupos, sem um efeito diferencial do jogo de realidade virtual quando comparado à condição controle (tabela 9).

Tabela 9. Comparações pós-hoc entre etapas (modelo linear misto, Bonferroni)

Comparação (Etapas)	Diferença estimada	p ajustado	Interpretação
Forms – Baseline	↑ significativa	0.013	Forms mais estressante que baseline
Forms – Estressor	↑ significativa	<0.001	Forms mais estressante que o estressor
Forms – Natureza virtual	↑ significativa	<0.001	Forms mais estressante que a natureza virtual (exp)
Forms – Repouso passivo	↑ significativa	<0.001	Forms mais estressante que descanso passivo (ctrl)
Forms – Baseline 2	↑ significativa	<0.001	Forms mais estressante que recuperação final
Estressor – Baseline	n.s.	0.984	Estressor não difere do baseline
Natureza virtual – Baseline	n.s.	0.469	Jogo $\approx$ baseline
Descanso passivo – Baseline	n.s.	0.469	Descanso $\approx$ baseline
Baseline 2 – Baseline	n.s.	0.215	Recuperação final $\approx$ baseline
Natureza virtual – Estressor	↓ significativa	<0.001	Natureza virtual menos estressante que estressor

Descanso passivo – Estressor	↓ significativa	<0.001	Descanso menos estressante que estressor
Baseline 2 – Estressor	↓ significativa	<0.001	Baseline 2 menos estressante que estressor

Nota. n.s. = não significativo

Para complementar os resultados apresentados nos gráficos de linhas, foram incluídos boxplots dos principais índices de variabilidade da frequência cardíaca (VFC): HF (potência normalizada), RMSSD (ms) e frequência cardíaca média (HR, em bpm), mostrados a seguir nas figuras 7, 8 e 9. Esses gráficos ajudam a visualizar a distribuição dos dados em cada etapa do protocolo, destacando possíveis variações entre os grupos controle e experimental ao longo do tempo.

Figura 7. Boxplot do índice RMSSD por grupo e etapa do experimento

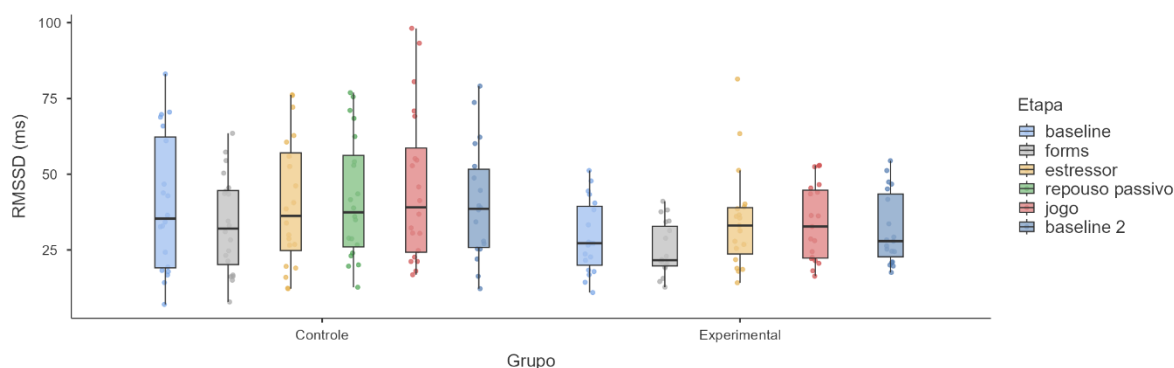


Figura 8. Boxplot do índice HF (normalizado) por grupo e etapa do experimento

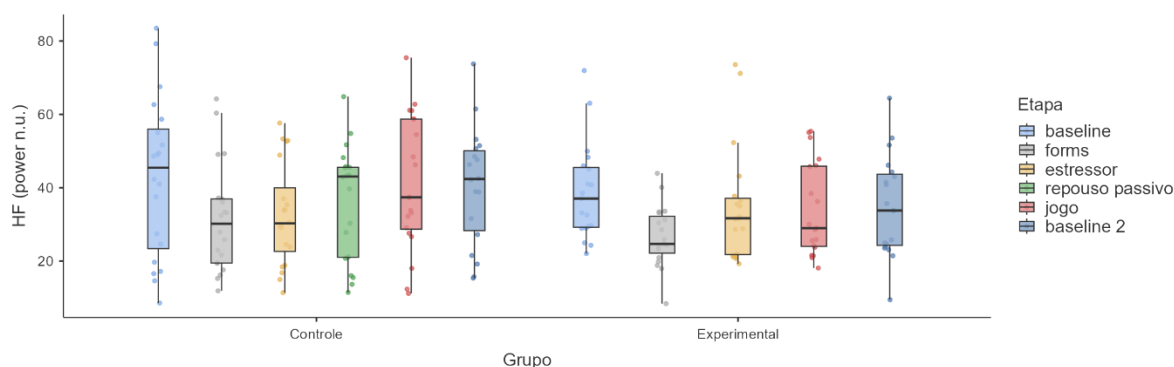
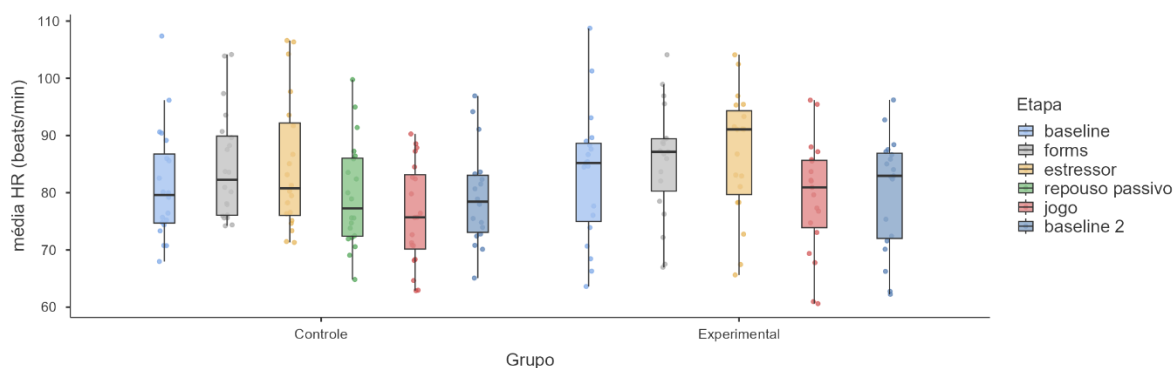


Figura 9. Boxplot do índice HR por grupo e etapa do experimento



Nota. A linha dentro de cada caixa representa a mediana; os limites da caixa mostram o intervalo interquartil e os pontos externos são outliers.

O teste pós-hoc do modelo misto revelou que a fase de formulários foi consistentemente a mais estressante de todo o protocolo, apresentando valores significativamente mais elevados em comparação ao baseline, ao estressor, ao jogo, à tela-preta e à recuperação final (todos $p < 0,05$). Em contraste, a fase de estressor não diferiu estatisticamente do baseline, possivelmente porque os participantes já se encontravam em alta ativação desde os formulários. Tanto o jogo (grupo experimental) quanto o repouso passivo (grupo controle) apresentaram reduções significativas em relação ao estressor, caracterizando efeito restaurativo imediato, embora não diferissem do baseline. A fase final também mostrou queda em relação ao estressor, sugerindo manutenção da recuperação. Esses resultados reforçam que, em termos autonômicos, a fase de formulários foi a mais exigente, enquanto as etapas subsequentes (jogo e descanso passivo) funcionaram como condições de recuperação fisiológica.

Por fim, quando analisados separadamente por grupo (tabela 10), os resultados confirmam que a fase de formulários foi a mais estressante tanto para o grupo experimental quanto para o grupo controle, apresentando valores significativamente maiores em relação ao baseline, ao estressor e às etapas de recuperação. No grupo experimental, o jogo em realidade virtual mostrou queda significativa em relação ao estressor ($p < 0,001$), caracterizando um efeito restaurativo imediato. No grupo controle, o descanso passivo também reduziu significativamente em relação ao estressor ($p < 0,001$), indicando efeito de recuperação semelhante. Em ambos os grupos, a fase final manteve essa redução em comparação ao estressor, sugerindo que a recuperação fisiológica foi sustentada ao longo do tempo.

Tabela 10. Comparações pós-hoc por grupo Experimental e Controle (Bonferroni)
Grupo experimental:

Comparação (Etapas)	Diferença estimada	p ajustado	Interpretação
Forms – Baseline	↑ significativa	0.013	Forms > Baseline
Forms – Estressor	↑ significativa	0.005	Forms > Estressor

Forms – Jogo	↑ significativa	0.014	Forms > Jogo (recuperação VR)
Estressor – Baseline	n.s.	0.998	Estressor $\approx$ Baseline
Jogo – Baseline	n.s.	0.469	Jogo $\approx$ Baseline
Jogo – Estressor	↓ significativa	<0.001	Jogo < Estressor (recuperação clara)
Final – Estressor	↓ significativa	<0.001	Final < Estressor

Grupo controle:

Comparação (Etapas)	Diferença estimada	p ajustado	Interpretação
Forms – Baseline	↑ significativa	0.010	Forms > Baseline
Forms – Estressor	↑ significativa	0.004	Forms > Estressor
Forms – Tela-preta	↑ significativa	0.012	Forms > Tela-preta (recuperação passiva)
Estressor – Baseline	n.s.	0.990	Estressor $\approx$ Baseline
Tela-preta – Baseline	n.s.	0.469	Descanso $\approx$ Baseline
Tela-preta – Estressor	– ↓ significativa	<0.001	Descanso < Estressor
Final – Estressor	↓ significativa	<0.001	Final < Estressor

4.5 Correlação com as escalas psicológicas

As correlações entre variáveis fisiológicas e escores psicológicos revelaram padrões consistentes de associação (conforme consta na tabela 11). O Δ RMSSD sustentado correlacionou-se negativamente com sintomas de depressão ($\rho = -0,500$, $p = 0,002$) e estresse ($\rho = -0,412$, $p = 0,011$), indicando que participantes com maior sofrimento psicológico apresentaram menor recuperação vagal. De forma semelhante, o Δ SDNN sustentado também se associou negativamente com depressão ($\rho = -0,352$, $p = 0,033$). Em contrapartida, o Δ HR sustentado apresentou correlações positivas com depressão ($\rho = 0,610$, $p < 0,001$) e estresse (ρ

= 0,478, $p = 0,002$), refletindo que maiores níveis de sofrimento psicológico estiveram associados a maior frequência cardíaca residual.

Além disso, variáveis de bem-estar mostraram associações positivas: maiores níveis de *mindfulness* correlacionaram-se com maior recuperação parassimpática no grupo experimental, via Δ HF restaurativo ($\rho = 0,709$, $p < 0,001$) e Δ LF restaurativo ($\rho = 0,371$, $p = 0,020$). Finalmente, a satisfação com a vida apresentou correlação negativa com Δ HR sustentado ($\rho = -0,472$, $p = 0,002$) e Δ RMSSD imediato ($\rho = -0,357$, $p = 0,026$), sugerindo que indivíduos mais satisfeitos com suas vidas apresentaram maior recuperação fisiológica após o estressor.

Embora não tenham emergido diferenças significativas entre os grupos experimental e controle nos deltas restaurativos, observou-se que fatores individuais, como depressão, estresse, *mindfulness* e satisfação com a vida, mostraram-se fortemente associados à recuperação fisiológica, sugerindo que o efeito do VR pode depender mais das características psicológicas do participante do que da intervenção em si.

Tabela 11. Correlações de Spearman significativas entre deltas fisiológicos restaurativos e escores das escalas psicológicas (N = 39)

Variável fisiológica (delta)	Escala psicológica	ρ (Spearman)	p
Δ RMSSD Sustentado	Depressão (DASS-21)	-0,500	0,002*
Δ RMSSD Sustentado	Estresse (DASS-21)	-0,412	0,011*
Δ SDNN Sustentado	Depressão (DASS-21)	-0,352	0,033*
Δ HR Sustentado	Depressão (DASS-21)	0,610	<0,001*
Δ HR Sustentado	Estresse (DASS-21)	0,478	0,002*
Δ HF Imediato	Mindfulness (MAAS)	0,709	<0,001*
Δ LF Imediato	Mindfulness (MAAS)	0,371	0,020*
Δ HR Sustentado	Satisfação com a Vida	-0,472	0,002*
Δ RMSSD Imediato	Satisfação com a Vida	-0,357	0,026*

Nota. ρ = coeficiente de correlação de Spearman. p = nível de significância.

CAPÍTULO V

5. DISCUSSÃO

5.1 Efeito do protocolo de estresse e recuperação

O presente estudo investigou os efeitos restaurativos de uma breve exposição à natureza virtual, por meio do jogo *Nature Treks VR*, sobre indicadores psicofisiológicos após indução de estresse aritmético em universitários. Os resultados confirmaram a eficácia do protocolo, uma vez que houve aumento da frequência cardíaca e redução dos índices de variabilidade (RMSSD, HF e SDNN) durante a etapa estressora, seguidos de recuperação nas fases posteriores. Esse padrão assegura que o delineamento foi adequado para provocar estresse agudo e analisar a restauração fisiológica subsequente, em consonância com evidências de que tarefas aritméticas em série são eficazes para induzir estresse psicológico (Wang et al., 2005; Birkett, 2011).

Tanto a realidade virtual quanto o descanso passivo favoreceram a recuperação fisiológica após o estressor. Contudo, apenas a frequência cardíaca apresentou diferença significativa entre os grupos, com redução mais acentuada no grupo experimental. A diminuição da FC durante a exposição à natureza virtual já foi descrita em revisões recentes (Fan & Baharum, 2024) e pode ser interpretada à luz da *Stress Recovery Theory* (Ulrich, 2023), que postula benefícios fisiológicos do contato com a natureza. Esses dados reforçam que a VR pode exercer um efeito incremental sobre a recuperação autonômica, mesmo quando índices de VFC não diferenciam claramente as condições.

No presente estudo, não foram observadas diferenças significativas entre os grupos nos índices de VFC ao longo do tempo, apesar de uma tendência de redução do RMSSD após o estressor. Padrão semelhante foi encontrado em Kim et al. (2021), que relataram efeitos consistentes sobre estresse subjetivo, mas apenas alterações parciais em parâmetros de VFC. Da mesma forma, Anderson et al. (2017) observaram reduções de afeto negativo em ambientes naturais virtuais, mas ausência de efeitos claros em HRV. Esses dados sugerem que, embora a VR favoreça a recuperação, os marcadores autonômicos mais refinados podem ser menos sensíveis em protocolos breves ou em determinadas populações.

O estudo de Wang et al. (2019) mostrou que ambientes virtuais com sons naturais e fluxo de água promoveram maior recuperação subjetiva em comparação com cenários artificiais ou silenciosos, reforçando que a qualidade sensorial do ambiente virtual é determinante para seus efeitos. No presente estudo, utilizou-se o *Nature Treks VR*, que combina estímulos visuais e sonoros, característica que potencializa a experiência imersiva. Dessa forma, a ausência de diferenças significativas nos índices de VFC não parece decorrer da duração da sessão ou da qualidade sensorial da aplicação, mas sim de fatores como alta variabilidade individual ou limitação das medidas fisiológicas em captar mudanças de curto prazo.

A interatividade também pode desempenhar papel relevante na eficácia da VR. No

estudo de Liszio e Masuch (2019), participantes que interagiram ativamente com um cenário natural apresentaram maior HRV e emoções positivas do que aqueles em condição passiva. O *Nature Treks VR* oferece possibilidades de interação, como adicionar elementos, explorar o cenário e manipular o clima, o que pode ter contribuído para a redução significativa de FC encontrada em nosso estudo. Assim, mesmo sem diferenças robustas em VFC, os resultados sugerem que a interatividade amplia os benefícios restaurativos da VR.

Evidências em populações clínicas reforçam esse potencial. Sánchez-Nieto et al. (2023) relataram reduções consistentes de FC em pacientes com Alzheimer moderado após sessões repetidas de *Nature Treks VR*, com elevada aceitação e prazer pela experiência, apesar da ausência de efeitos em escalas neuropsicológicas. Da mesma forma, Frewen et al. (2020) mostraram que exercícios psicoterapêuticos em VR geraram maior afeto positivo, presença e satisfação do que os mesmos exercícios em 2D ou por imaginação. Esses dados, em conjunto com o presente estudo, sugerem que o *Nature Treks VR* é uma ferramenta versátil, aplicável em diferentes contextos e populações.

Por fim, nossos achados de redução significativa da FC após a exposição à VR se alinham a estudos que destacam respostas autonômicas complexas diante da natureza. Scott et al. (2021) observaram aumento da FC durante um retiro natural, indicando que a imersão pode envolver tanto relaxamento quanto excitação atencional, enquanto Mattila et al. (2020) mostraram que apenas cinco minutos em floresta virtual já melhoram humor e vitalidade. Uma revisão sistemática de Gaertner et al. (2023) também apontou efeitos positivos em HRV na maioria dos estudos com VR natureza, embora a heterogeneidade metodológica limite conclusões definitivas. Em conjunto, essas evidências reforçam que a VR é uma estratégia promissora para favorecer a recuperação do estresse, ainda que os efeitos possam variar conforme o marcador fisiológico analisado.

5.2 Comparação entre grupos

Na comparação entre grupos, tanto a realidade virtual quanto o descanso passivo favoreceram a recuperação fisiológica após o estressor. Contudo, apenas a frequência cardíaca apresentou diferença significativa entre as condições, com redução mais acentuada no grupo VR. Os índices de VFC não mostraram diferenças relevantes, embora ambos os grupos tenham seguido o mesmo padrão de restauração. Esse resultado é consistente com estudos que relatam efeitos mais evidentes da VR em medidas globais, como a frequência cardíaca, enquanto os parâmetros de variabilidade tendem a ser mais sensíveis a fatores individuais.

Estudos comparativos mostram que os benefícios da VR não se devem apenas ao efeito de imersão ou distração. Mostajeran et al. (2023) demonstraram que a exposição a um ambiente florestal virtual, em comparação com um cenário abstrato, resultou em maior percepção de restauração, melhora do humor, redução do estresse e melhor desempenho cognitivo. Esses achados corroboram a interpretação de que a qualidade dos estímulos naturais é fundamental para a eficácia da intervenção. Assim, nossos resultados sugerem que, embora o repouso passivo também favoreça a recuperação, a exposição a cenários naturais virtuais pode trazer benefícios adicionais, particularmente na modulação da frequência cardíaca.

Em populações universitárias, diferentes estratégias de manejo do estresse, incluindo VR, mindfulness e intervenções psicoeducativas, têm mostrado benefícios significativos.

Browning et al. (2023) observaram que a exposição diária a VR natureza reduziu sintomas de ansiedade, com efeitos mais pronunciados em mulheres e indivíduos com maior conexão prévia com a natureza. De forma complementar, Sousa et al. (2021) verificaram que um treinamento breve em mindfulness reduziu estresse e ansiedade, com efeitos modulados pelo traço de mindfulness individual. Já Slimmen et al. (2022) mostraram que autoestima e estratégias de enfrentamento são cruciais para o bem-estar de estudantes frente ao estresse. Esses achados sustentam que a eficácia das intervenções depende não apenas da técnica utilizada, mas também de características individuais, o que ajuda a explicar a variabilidade encontrada em nosso estudo.

Uma revisão sistemática e meta-análise conduzida por Sheffield, Butler e Richardson (2022) reuniu 36 estudos com adultos e mostrou que intervenções de contato com a natureza, reais ou virtuais, produzem aumentos consistentes na conexão com a natureza, com efeitos sustentados em seguimento. Não foram observadas diferenças entre modalidades de contato (direto vs. indireto) ou qualidade do engajamento (ativo vs. passivo), sugerindo que a simples exposição já é suficiente para promover benefícios. Esses achados reforçam que a VR constitui uma alternativa válida ao contato direto, embora a repetição das exposições pareça ser importante para consolidar ganhos. No presente estudo, a sessão única pode ter contribuído para efeitos mais restritos, embora ainda tenha promovido redução significativa da frequência cardíaca.

Resultados semelhantes são descritos em outros contextos. Silva et al. (2020) mostraram que VR natureza aumentou o limiar de dor e reduziu a percepção de estresse, mas não produziu diferenças em VFC, sugerindo que efeitos fisiológicos podem ser captados com mais clareza em medidas globais. De forma complementar, Aras et al. (2024) demonstraram que caminhadas em ambientes naturais reais reduziram o cortisol salivar em comparação a rotas urbanas, embora os efeitos sobre VFC tenham sido heterogêneos. Esses achados reforçam que a ausência de efeitos consistentes na VFC, como observado em nosso estudo, não é exclusiva da VR e pode refletir a variabilidade individual na responsividade autonômica.

Uma revisão sistemática de Gentile et al. (2023) apontou que ambientes virtuais com elementos como sons naturais, iluminação dinâmica e presença de água promovem reduções mais consistentes de estresse subjetivo e fisiológico. Isso sugere que a eficácia da VR depende não apenas da imersão, mas também da qualidade sensorial dos estímulos. O uso do *Nature Treks VR* em nosso protocolo se mostra pertinente, já que o software oferece recursos multimodais que favorecem engajamento e percepção de naturalidade.

Evidências de natureza real também sustentam o papel restaurativo do contato com ambientes naturais. Kramer et al. (2025) mostraram que apenas dez minutos em um cenário natural reduziram o afeto negativo e a ativação do córtex pré-frontal ventrolateral em indivíduos saudáveis e pacientes com depressão. Esses resultados indicam que a natureza modula não apenas indicadores autonômicos, mas também processos cerebrais relacionados ao estresse, apoiando a ideia de que ambientes virtuais podem simular parte desses mecanismos.

O papel da interatividade foi explorado por Spangenberg et al. (2022), que investigaram os efeitos de incorporar a perspectiva de uma árvore em VR. Os participantes relataram maior imersão e reflexões sobre sua relação com a natureza, sendo que o aumento em *nature relatedness* ocorreu principalmente entre aqueles que experimentaram maior presença. Esses achados sugerem que experiências que estimulam engajamento ativo e

mudança de perspectiva podem intensificar os benefícios restaurativos e ampliar a conexão subjetiva com a natureza.

5.2 Correlação com variáveis psicofisiológicas

As análises correlacionais mostraram que sintomas de depressão e estresse estavam associados a menor variabilidade e maior frequência cardíaca sustentada, enquanto mindfulness e satisfação com a vida se relacionaram a maior recuperação fisiológica. Esses resultados reforçam que características individuais modulam a resposta autonômica ao estresse, contribuindo para explicar a heterogeneidade observada nos efeitos da VR.

Estudos em universitários sustentam esse padrão. Em um ensaio controlado, Sousa et al. (2021) mostraram que estudantes com alto traço de mindfulness apresentaram menores níveis de ansiedade e estresse percebido, além de maior capacidade de recuperação fisiológica após um treinamento breve de meditação. O aumento do mindfulness de estado mediou a redução de cortisol, sobretudo em indivíduos com maior mindfulness disposicional. Esses achados se alinham ao presente estudo, no qual mindfulness e satisfação com a vida favoreceram a restauração autonômica, enquanto depressão e estresse predisseram maior vulnerabilidade.

A variabilidade dos achados também pode ser atribuída a diferenças individuais na forma como o estresse e a exposição à natureza são vivenciados. Browning et al. (2023) relataram que conexão prévia com a natureza e gênero modulam os efeitos da VR, enquanto Spangenberg et al. (2022) mostraram que presença e imersão determinam ganhos em *nature relatedness*. Mesmo em ambientes reais, respostas autonômicas heterogêneas foram observadas por Scott et al. (2021) e Mattila et al. (2020), reforçando que os efeitos não são uniformes. Além disso, revisões sistemáticas indicam que engajamento subjetivo e aceitabilidade são cruciais para a eficácia da VR (Riches et al., 2023). Em conjunto, esses dados reforçam que características individuais são moduladores centrais da resposta psicofisiológica à VR, explicando a dissociação frequente entre efeitos subjetivos e fisiológicos.

Estudos recentes reforçam que os benefícios da natureza em VR são captados de forma clara por escalas psicológicas. Em universitários, O'Meara et al. (2020) mostraram que uma breve experiência de mindfulness em VR reduziu significativamente a ansiedade de estado, enquanto Li et al. (2021) observaram diminuição de sintomas de ansiedade e depressão em indivíduos com transtornos leves a moderados após exposição a ambientes restaurativos virtuais. De modo semelhante, Ho et al. (2023) identificaram reduções de estresse percebido em trabalhadores após sessões repetidas de VR natureza, demonstrando que diferentes populações se beneficiam da intervenção.

Resultados semelhantes também foram encontrados por Finkler et al. (2025), que observaram melhorias no bem-estar emocional, maior prazer subjetivo e maior sensação de presença durante experiências imersivas em 360° com ambientes naturais. Esses achados reforçam o potencial da natureza virtual como ferramenta eficaz para promover estados emocionais positivos e aumentar a conexão com a natureza, especialmente em contextos urbanos ou com acesso limitado ao ambiente natural.

Björling et al. (2022), em um estudo com adolescentes, observaram que a imersão em ambientes naturais virtuais reduziu estresse e melhorou o humor nessa população, enquanto

Owens e Bunce (2023) relataram reduções de sintomas depressivos após exposição breve em VR. Comparando natureza real e virtual, Reese et al. (2022) mostraram que ambos os formatos reduziram o estresse subjetivo de maneira semelhante, embora a experiência real tenha promovido maior intensidade de bem-estar. Revisões sistemáticas, como a de Gentile et al. (2023), confirmam que medidas psicológicas captam de forma consistente os efeitos da VR natureza, mesmo quando os parâmetros fisiológicos apresentam resultados heterogêneos.

Existem desafios quanto ao uso de tecnologia RV para simular ambientes naturais. Primeiramente, esses ambientes não devem ser vistos como substitutos da natureza física, real. Outros aspectos a serem considerados são a duração de tempo da exposição e os estímulos relacionados ao ambiente. O ideal é que a visualização não seja nem tão curta a ponto de não ser possível observar os efeitos restaurativos, nem tão longa a ponto de causar tédio nos participantes. A questão dos estímulos é relacionado às possibilidades de interação que os voluntários podem realizar durante a exposição, caso sejam tarefas difíceis a tendência é que haja muita atenção dirigida, podendo causar fadiga mental.

Algumas limitações do presente estudo devem ser reconhecidas. A aplicação das escalas psicológicas apenas no baseline impossibilitou avaliar mudanças subjetivas ao longo das fases do protocolo, restringindo a análise comparativa aos parâmetros fisiológicos. Além disso, a intervenção consistiu em uma única sessão breve, o que limita a generalização dos resultados para contextos de uso contínuo ou prolongado. O tamanho amostral reduzido também pode ter diminuído o poder estatístico para detectar efeitos sutis em índices de VFC.

Outra limitação diz respeito à escolha dos marcadores fisiológicos. Embora a frequência cardíaca tenha revelado diferenças significativas entre os grupos, os índices de VFC mostraram-se menos responsivos, o que pode refletir tanto variabilidade individual quanto limitações na sensibilidade dessas medidas em exposições curtas. Também não foi incluído um grupo de comparação com ambientes virtuais não naturais, o que poderia ter ajudado a distinguir os efeitos específicos do conteúdo natural.

Pesquisas futuras devem considerar delineamentos longitudinais, com múltiplas sessões de exposição, a fim de verificar se os efeitos observados se mantêm ou se potencializam ao longo do tempo. A utilização de medidas repetidas de estresse percebido, ansiedade e afeto poderá favorecer análises mais integradas entre respostas subjetivas e fisiológicas, ampliando a compreensão dos mecanismos envolvidos. Também se recomenda investigar o momento mais adequado para a aplicação das escalas psicológicas, uma vez que, no presente estudo, essa etapa foi percebida como a mais estressora, o que possivelmente impactou os resultados obtidos no estressor cognitivo aritmético. Ademais, comparações entre diferentes tipos de conteúdo em realidade virtual e distintos níveis de interatividade podem esclarecer quais características são mais determinantes para a promoção dos efeitos restaurativos. Por fim, ainda que o presente estudo tenha sido conduzido em contexto universitário, aplicações em ambientes clínicos, hospitalares ou corporativos podem ampliar a relevância prática das evidências aqui apresentadas.

CAPÍTULO VI

CONCLUSÃO

O presente estudo buscou examinar os efeitos de uma breve exposição à natureza virtual sobre a variabilidade da frequência cardíaca de estudantes universitários após a indução de estresse cognitivo. Os resultados confirmaram a eficácia do protocolo para provocar ativação autonômica, bem como indicaram que tanto o descanso passivo quanto a imersão em realidade virtual favoreceram a recuperação fisiológica subsequente.

Embora não tenham sido observadas diferenças consistentes entre as condições experimentais na maioria dos parâmetros de VFC, a redução significativa da frequência cardíaca no grupo exposto à natureza virtual sugere um efeito restaurativo potencialmente mais pronunciado dessa condição. Além disso, as correlações entre os deltas fisiológicos e variáveis psicológicas reforçam a influência de características individuais, como sintomas emocionais e níveis de atenção plena, na forma como cada participante responde a situações de estresse e recuperação.

Conclui-se que a exposição à natureza virtual, embora não substitua a experiência em ambientes naturais reais, pode se configurar como ferramenta complementar de promoção de bem-estar e manejo do estresse, seja em contextos acadêmicos ou até em situações nas quais não é possível ter o contato direto com a natureza. Torna-se, portanto, necessário avançar em pesquisas com amostras mais amplas, diferentes cenários de realidade virtual e delineamentos longitudinais, a fim de aprofundar a compreensão dos mecanismos envolvidos e consolidar a aplicabilidade dessa tecnologia em contextos diversos da saúde e do bem-estar mental.

REFERÊNCIAS

- Anderson, A. P., Mayer, M. D., Fellows, A. M., Cowan, D. R., Hegel, M. T., & Buckey, J. C. (2017). Relaxation with immersive natural scenes presented using virtual reality. *Aerospace Medicine And Human performance.*, 88(6), 520–526. <https://doi.org/10.3357/AMHP.4747.2017>
- Arakaki, X., Arechavala, R. J., Choy, E. H., Bautista, J., Bliss, B., Molloy, C., Wu, D.-A., Shimojo, S., Jiang, Y., Kleinman, M. T., & Kloner, R. A. (2023). The connection between heart rate variability (HRV), neurological health, and cognition: A literature review. *Frontiers in Neuroscience*, 17. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1055445>
- Aras, S. G., Runyon, J. R., Kazman, J. B., Thayer, J. F., Sternberg, E. M., & Deuster, P. A. (2024). Is Greener Better? Quantifying the Impact of a Nature Walk on Stress Reduction Using HRV and Saliva Cortisol Biomarkers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21(11), 1491. <https://doi.org/10.3390/ijerph21111491>
- Barragan-Jason, G., Loreau, M., de Mazancourt, C., Singer, M. C., & Parmesan, C. (2023). Psychological and physical connections with nature improve both human well-being and nature conservation: A systematic review of meta-analyses. *Biological Conservation*, 277, 109842. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109842>
- Barros, V. V. de, Kozasa, E. H., Souza, I. C. W. de, & Ronzani, T. M. (2015). Validity evidence of the brazilian version of the Mindful Attention Awareness Scale (MAAS). *Psicologia: Reflexão e Crítica*, 28, 87–95. <https://doi.org/10.1590/1678-7153.201528110>
- Beil, K., & Hanes, D. (2013). The Influence of Urban Natural and Built Environments on Physiological and Psychological Measures of Stress— A Pilot Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(4), 1250–1267. <https://doi.org/10.3390/ijerph10041250>
- Benarroch, E. (2020). Physiology and Pathophysiology of the Autonomic Nervous System. *American Academy of Neurology*, 26(1), 12–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.1212/CON.0000000000000817>
- Berman, M. G., Jonides, J., & Kaplan, S. (2008). The Cognitive Benefits of Interacting With Nature. *Psychological Science*, 19(12), 1207–1212. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2008.02225.x>
- Billman, G. E. (2013). The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance. *Frontiers in Physiology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00026>
- Birkett, M. A. (2011). The Trier Social Stress Test Protocol for Inducing Psychological Stress. *Journal of Visualized Experiments (JoVE)*, 56, e3238. <https://doi.org/10.3791/3238>
- Björling, E. A., Sonney, J., Rodriguez, S., Carr, N., Zade, H., & Moon, S. H. (2022). Exploring the Effect of a Nature-based Virtual Reality Environment on Stress in Adolescents. *Frontiers in Virtual Reality*, 3. <https://doi.org/10.3389/frvir.2022.831026>

- Blanchard, C., Burgess, S., Harvill, Y., Lanier, J., Lasko, A., Oberman, M., & Teitel, M. (1990). Reality built for two: a virtual reality tool. *Proceedings of the 1990 Symposium on Interactive 3D Graphics*, 35–36. <https://doi.org/10.1145/91385.91409>
- Brito, I., & Haddad, H. (2017). A formulação do conceito de homeostase por Walter Cannon. *Filosofia e História da Biologia*, 12(1), 99–113. <https://www.abfhib.org/FHB/FHB-12-1/FHB-v12-n1-06.html>
- Browning, M. H. E. M., Mimnaugh, K. J., van Riper, C. J., Laurent, H. K., & LaValle, S. M. (2020). Can Simulated Nature Support Mental Health? Comparing Short, Single-Doses of 360-Degree Nature Videos in Virtual Reality With the Outdoors. *Frontiers in Psychology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02667>
- Browning, M. H. E. M., Shin, S., Drong, G., McAnirlin, O., Gagnon, R. J., Ranganathan, S., Sindelar, K., Hoptman, D., Bratman, G. N., Yuan, S., Prabhu, V. G., & Heller, W. (2023). Daily exposure to virtual nature reduces symptoms of anxiety in college students. *Scientific Reports*, 13(1), 1239. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28070-9>
- Chan, S. H. M., Qiu, L., & Xie, T. (2023). Understanding experiences in metaverse: How virtual nature impacts affect, pro-environmental attitudes, and intention to engage with physical nature. *Computers in Human Behavior*, 149, 107926. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2023.107926>
- Chan, S. H. M., Qiu, L., Esposito, G., Mai, K. P., Tam, K.-P., & Cui, J. (2023). Nature in virtual reality improves mood and reduces stress: evidence from young adults and senior citizens. *Virtual Reality*, 27(4), 3285–3300. <https://doi.org/10.1007/s10055-021-00604-4>
- Deo, S. K., Agrawal, K., & Bhattarai, P. (2018). Heart Rate Variability as a Marker of Changes in Mood State in Daily Life by Photoplethysmography Technique. *Nepalese Medical Journal*, 1(2), 100–103. <https://doi.org/10.3126/nmj.v1i2.21601>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2023). *Censo 2022: 87% da população brasileira vive em áreas urbanas*. <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/41901-censo-2022-87-da-populacao-brasileira-vive-em-areas-urbanas>
- Dimenstein, M. (2020). Urbanização, modos de vida e produção da saúde na cidade. *ECOS- Estudos Contemporâneos da Subjetividade*, 10(1), 61-73.
- Fan, L., & Baharum, M. R. (2024). The effects of digital nature and actual nature on stress reduction: A meta-analysis and systematic review. *Internet Interventions*, 38, 100772. <https://doi.org/10.1016/j.invent.2024.100772>
- Finkler, W., Vlietstra, L., Waters, D. L., Zhu, L., Gallagher, S., Walker, R., Forlong, R., & van Heezik, Y. (2025). Virtual nature and well-being: Exploring the potential of 360° VR. *Applied Psychology: Health and Well-Being*, 17(1), e70008. <https://doi.org/10.1111/aphw.70008>

- Fragelli, T. B. O., & Fragelli, R. R. (2021). Por que estudantes universitários apresentam estresse, ansiedade e depressão? Uma rapid review de estudos longitudinais. *Revista Docência do Ensino Superior*, 11, 1–21. <https://doi.org/10.35699/2237-5864.2021.29593>
- Frewen, P., Mistry, D., Zhu, J., Kiehl, T., Wekerle, C., Lanius, R. A., & Jetly, R. (2020). Proof of Concept of an Eclectic, Integrative Therapeutic Approach to Mental Health and Well-Being Through Virtual Reality Technology. *Frontiers in Psychology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00858>
- Fromm, E. (1973). *The Anatomy of Human Destructiveness*. New York: Fawcett Crest.
- Gaertner, R. J., Kossmann, K. E., Benz, A. B. E., Bentele, U. U., Meier, M., Denk, B. F., Klink, E. S. C., Dimitroff, S. J., & Pruessner, J. C. (2023). Relaxing effects of virtual environments on the autonomic nervous system indicated by heart rate variability: A systematic review. *Journal of Environmental Psychology*, 88, 102035. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2023.102035>
- Gaekwad, J. S., Sal Moslehian, A., & Roös, P. B. (2023). A meta-analysis of physiological stress responses to natural environments: Biophilia and Stress Recovery Theory perspectives. *Journal of Environmental Psychology*, 90, 102085. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2023.102085>
- Gentile, A., Ficarra, S., Thomas, E., Bianco, A., & Nordstrom, A. (2023). Nature through virtual reality as a stress-reduction tool: A systematic review. *International Journal of Stress Management*, 30(4), 341–353. <https://doi.org/10.1037/str0000300>
- Gu, Y., & Wang, Q. (2022). Application of Virtual Reality in Different Fields. *2022 IEEE 2nd International Conference on Data Science and Computer Application (ICDSCA)*, 1091–1095. <https://doi.org/10.1109/ICDSCA56264.2022.9988426>
- Gullett, N., Zajkowska, Z., Walsh, A., Harper, R., & Mondelli, V. (2023). Heart rate variability (HRV) as a way to understand associations between the autonomic nervous system (ANS) and affective states: A critical review of the literature. *International Journal of Psychophysiology*, 192, 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2023.08.001>
- Gunnarsson, B., & Hedblom, M. (2023). Biophilia revisited: nature versus nurture. *Trends in Ecology & Evolution*, 38(9), 792–794. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2023.06.002>
- Hernández-Vicente, A., Hernando, D., Marín-Puyalto, J., Vicente-Rodríguez, G., Garatachea, N., Pueyo, E., & Bailón, R. (2021). Validity of the Polar H7 Heart Rate Sensor for Heart Rate Variability Analysis during Exercise in Different Age, Body Composition and Fitness Level Groups. *Sensors*, 21(3), 902. <https://doi.org/10.3390/s21030902>
- Ho, M.-H., Wu, M.-S., & Yen, H.-Y. (2023). Effects of virtual reality natural experiences on factory workers' psychological and physiological stress. *Frontiers in Psychology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.993143>

- Houlden, V., Weich, S., Albuquerque, J. P. de, Jarvis, S., & Rees, K. (2018). The relationship between greenspace and the mental wellbeing of adults: A systematic review. *PLOS ONE*, 13(9), e0203000. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203000>
- Kaplan, R., & Kaplan, S. (1989). *The experience of nature: A psychological perspective*. Cambridge university press.
- Kaplan, S. (2001). Meditation, Restoration, and the Management of Mental Fatigue. *Environment and Behavior*, 33(4), 480–506. <https://doi.org/10.1177/00139160121973106>
- Kellert, S. R., & Wilson, E. O. (1995). *The Biophilia Hypothesis*. Island Press.
- Keniger, L. E., Gaston, K. J., Irvine, K. N., & Fuller, R. A. (2013). What are the Benefits of Interacting with Nature? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(3), 913–935. <https://doi.org/10.3390/ijerph10030913>
- Kim, H., Kim, D. J., Kim, S., Chung, W. H., Park, K.-A., Kim, J. D. K., Kim, D., Kim, M. J., Kim, K., & Jeon, H. J. (2021). Effect of Virtual Reality on Stress Reduction and Change of Physiological Parameters Including Heart Rate Variability in People With High Stress: An Open Randomized Crossover Trial. *Frontiers in Psychiatry*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.614539>
- Li, H., Dong, W., Wang, Z., Chen, N., Wu, J., Wang, G., & Jiang, T. (2021). Effect of a Virtual Reality-Based Restorative Environment on the Emotional and Cognitive Recovery of Individuals with Mild-to-Moderate Anxiety and Depression. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17), 9053. <https://doi.org/10.3390/ijerph18179053>
- Lu, S., Wei, F., & Li, G. (2021). The evolution of the concept of stress and the framework of the stress system. *Cell Stress*, 5(6), 76–85. <https://doi.org/10.15698/cst2021.06.250>
- Liszio, S., & Masuch, M. (2019). Interactive immersive virtual environments cause relaxation and enhance resistance to acute stress. *Annu Rev Cyberther Telemed*, 17, 65–71.
- Maas, J., Verheij, R. A., Vries, S. de, Spreeuwenberg, P., Schellevis, F. G., & Groenewegen, P. P. (2009). Morbidity is related to a green living environment. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 63(12), 967–973. <https://doi.org/10.1136/jech.2008.079038>
- Mattila, O., Korhonen, A., Pöyry, E., Hauru, K., Holopainen, J., & Parvinen, P. (2020). Restoration in a virtual reality forest environment. *Computers in Human Behavior*, 107, 106295. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106295>
- Martin, L., White, M. P., Hunt, A., Richardson, M., Pahl, S., & Burt, J. (2020). Nature contact, nature connectedness and associations with health, wellbeing and pro-environmental behaviours. *Journal of Environmental Psychology*, 68, 101389. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2020.101389>
- Mccraty, R., & Shaffer, F. (2015). Heart Rate Variability: New Perspectives on Physiological Mechanisms, Assessment of Self-regulatory Capacity, and Health Risk. *Global Advances in Health and Medicine*, 4(1), 46–61. <https://doi.org/10.7453/gahmj.2014.073>

- Meneses, A., & Santos, L. (2023). Estresse em estudantes universitários. *Research, Society and Development*, 10(4), 7. <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i4.40891>
- Mostajeran, F., Fischer, M., Steinicke, F., & Kühn, S. (2023). Effects of exposure to immersive computer-generated virtual nature and control environments on affect and cognition. *Scientific Reports*, 13(1), 220. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26750-6>
- Neff, K. D. (2003). The Development and Validation of a Scale to Measure Self-Compassion. *Self and Identity*, 2(3), 223–250. <https://doi.org/10.1080/15298860309027>
- O'Meara, A., Cassarino, M., Bolger, A., & Setti, A. (2020). Virtual Reality Nature Exposure and Test Anxiety. *Multimodal Technologies and Interaction*, 4(4), 75. <https://doi.org/10.3390/mti4040075>
- Owens, M., & Bunce, H. (2023). The effect of brief exposure to virtual nature on mental wellbeing in adolescents. *Scientific Reports*, 13(1), 17769. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44717-z>
- Pessoa, V. S., Gouveia, V. V., Soares, A. K. S., Vilar, R., & Freires, L. A. (2016). Escala de conexão com a natureza: evidências psicométricas no contexto brasileiro. *Estudos de Psicologia (Campinas)*, 33, 271–282. <https://doi.org/10.1590/1982-02752016000200009>
- Reese, G., Stahlberg, J., & Menzel, C. (2022). Digital shinrin-yoku: do nature experiences in virtual reality reduce stress and increase well-being as strongly as similar experiences in a physical forest? *Virtual Reality*, 26(3), 1245–1255. <https://doi.org/10.1007/s10055-022-00631-9>
- Riches, S., Jeyarajaguru, P., Taylor, L., Fialho, C., Little, J., Ahmed, L., O'Brien, A., van Driel, C., Veling, W., & Valmaggia, L. (2023). Virtual reality relaxation for people with mental health conditions: a systematic review. *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology*, 58(7), 989–1007. <https://doi.org/10.1007/s00127-022-02417-5>
- Sánchez-Nieto, D., Castaño-Castaño, S., Navarro-Martos, R., Obrero-Gaitán, E., Cortés-Pérez, I., & Nieto-Escamez, F. (2023). An Intervention on Anxiety Symptoms in Moderate Alzheimer's Disease through Virtual Reality: A Feasibility Study and Lessons Learned. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3), 2727. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032727>
- Scott, E. E., LoTemplio, S. B., McDonnell, A. S., McNay, G. D., Greenberg, K., McKinney, T., Uchino, B. N., & Strayer, D. L. (2021). The autonomic nervous system in its natural environment: Immersion in nature is associated with changes in heart rate and heart rate variability. *Psychophysiology*, 58(4), e13698. <https://doi.org/10.1111/psyp.13698>
- Schaffarczyk, M., Rogers, B., Reer, R., & Gronwald, T. (2022). Validity of the Polar H10 Sensor for Heart Rate Variability Analysis during Resting State and Incremental Exercise in Recreational Men and Women. *Sensors*, 22(17), 6536. <https://doi.org/10.3390/s22176536>

- Shaffer, F., McCraty, R., & Zerr, C. L. (2014). A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Frontiers in Psychology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01040>
- Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
- Sheffield, D., Butler, C. W., & Richardson, M. (2022). Improving Nature Connectedness in Adults: A Meta-Analysis, Review and Agenda. *Sustainability*, 14(19), 12494. <https://doi.org/10.3390/su141912494>
- Selye, H. (1973). The Evolution of the Stress Concept: The originator of the concept traces its development from the discovery in 1936 of the alarm reaction to modern therapeutic applications of syntoxic and catatonic hormones. *American Scientist*, 61(6), 692–699
- Slater, M., & Wilbur, S. (1997). A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(6), 603–616. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603>
- Silva, T. C. A., Bandeira, P. M., Ranzatto, A. D. da S., Meziat-Filho, N. A., Nogueira, L. A. C., Fernandes Júnior, O., & Reis, F. J. J. dos. (2020). Comparison of the effect of two virtual reality stimuli on pressure pain sensitivity and autonomic response. *BrJP*, 3, 328–332. <https://doi.org/https://doi.org/10.5935/2595-0118.20200187>
- Slimmen, S., Timmermans, O., Mikolajczak-Degrauwe, K., & Oenema, A. (2022). How stress-related factors affect mental wellbeing of university students A cross-sectional study to explore the associations between stressors, perceived stress, and mental wellbeing. *PLOS ONE*, 17(11), e0275925. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275925>
- Soga, M., & Gaston, K. J. (2016). Extinction of experience: the loss of human–nature interactions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(2), 94–101. <https://doi.org/10.1002/fee.1225>
- Sousa, G. M. de, Lima-Araújo, G. L. de, Araújo, D. B. de, & Sousa, M. B. C. de. (2021). Brief mindfulness-based training and mindfulness trait attenuate psychological stress in university students: a randomized controlled trial. *BMC Psychology*, 9(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s40359-021-00520-x>
- Spangenberg, P., Geiger, S. M., & Freytag, S.-C. (2022). Becoming nature: effects of embodying a tree in immersive virtual reality on nature relatedness. *Scientific Reports*, 12(1), 1311. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05184-0>
- Sudimac, S., & Kühn, S. (2024). Can a nature walk change your brain? Investigating hippocampal brain plasticity after one hour in a forest. *Environmental Research*, 262, 119813. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119813>
- Tyrväinen, L., Ojala, A., Korpela, K., Lanki, T., Tsunetsugu, Y., & Kagawa, T. (2014). The influence of urban green environments on stress relief measures: A field experiment. *Journal of Environmental Psychology*, 38, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2013.12.005>

- Tost, H., Champagne, F. A., & Meyer-Lindenberg, A. (2015). Environmental influence in the brain, human welfare and mental health. *Nature Neuroscience*, 18(10), 1421–1431. <https://doi.org/10.1038/nn.4108>
- Trigueiro, E. S. de O., Teixeira, M. M. de S., Silva, J. M. F. de L., Peixoto, C. O. B., Coêlho, Í. P., Balena, K. M., Santos, L. F. dos, Gomes, M. E. C., & Bezerra, Y. M. (2021). Índices de depressão e ansiedade em estudantes de psicologia: um estudo exploratório. *Research, Society and Development*, 10(3), e3310312897–e3310312897. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.12897>
- Ulrich, R. S., Simons, R. F., Losito, B. D., Fiorito, E., Miles, M. A., & Zelson, M. (1991). Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *Journal of Environmental Psychology*, 11(3), 201–230. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(05\)80184-7](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(05)80184-7)
- Ulrich, R. S. (2023). Stress reduction theory. *D. Marchand, E. Pol, & K. Weiss (Eds.), 100*, 143-146.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2019). World Urbanization Prospects 2018: Highlights (ST/ESA/SER.A/421). United Nations.
- Vignola, R. C. B., & Tucci, A. M. (2014). Adaptation and validation of the depression, anxiety and stress scale (DASS) to Brazilian Portuguese. *Journal of Affective Disorders*, 155, 104–109. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2013.10.031>
- Wang, J., Rao, H., Wetmore, G. S., Furlan, P. M., Korczykowski, M., Dinges, D. F., & Detre, J. A. (2005). Perfusion functional MRI reveals cerebral blood flow pattern under psychological stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(49), 17804–17809. <https://doi.org/10.1073/pnas.0503082102>
- Wang, X., Shi, Y., Zhang, B., & Chiang, Y. (2019). The Influence of Forest Resting Environments on Stress Using Virtual Reality. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(18), 3263. <https://doi.org/10.3390/ijerph16183263>
- Wilson, E. O. (1984). *Biophilia*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Williams, D. P., Koenig, J., Carnevali, L., Sgoifo, A., Jarczok, M. N., Sternberg, E. M., & Thayer, J. F. (2019). Heart rate variability and inflammation: A meta-analysis of human studies. *Brain, Behavior, and Immunity*, 80, 219–226. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2019.03.009>
- White, M. P., Alcock, I., Grellier, J., Wheeler, B. W., Hartig, T., Warber, S. L., Bone, A., Depledge, M. H., & Fleming, L. E. (2019). Spending at least 120 minutes a week in nature is associated with good health and wellbeing. *Scientific Reports*, 9(1), 7730. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44097-3>
- Yang, B.-Y., Zhao, T., Hu, L.-X., Browning, M. H. E. M., Heinrich, J., Dharmage, S. C., Jalaludin, B., Knibbs, L. D., Liu, X.-X., Luo, Y.-N., James, P., Li, S., Huang, W.-Z., Chen, G.,

Yen, H.-Y., & Huang, H.-Y. (2025). Virtual cycling in urban green and blue vs gray spaces: The efficacy of mental health and physical activity. *Public Health*, 243, 105723. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2025.105723>

Yin, J., Bratman, G. N., Browning, M. H. E. M., Spengler, J. D., & Olvera-Alvarez, H. A. (2022). Stress recovery from virtual exposure to a brown (desert) environment versus a green environment. *Journal of Environmental Psychology*, 81, 101775. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2022.101775>

Zanon, C., Bardagi, M. P., Layous, K., & Hutz, C. S. (2014). Validation of the Satisfaction with Life Scale to Brazilians: Evidences of Measurement Noninvariance Across Brazil and US. *Social Indicators Research*, 119(1), 443–453. <https://doi.org/10.1007/s11205-013-0478-5>

Zeng, X.-W., Hu, L.-W., Yu, Y., & Dong, G.-H. (2021). Greenspace and human health: An umbrella review. *The Innovation*, 2(4). <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2021.100164>

ANEXOS

ANEXO A – ESCALA DE AUTOCOMPAIXÃO

Como eu geralmente lido comigo em momentos difíceis (Souza & Hutz, 2013).

Por favor, leia com cuidado antes de responder. Para cada frase, marque o número que mostra com que frequência você se comporta da forma descrita. Use a escala de 1 até 5 para marcar sua escolha, sendo que 1 corresponde a “quase nunca” (QN), e 5 significa “quase sempre” (QS). Não existem respostas certas ou erradas. Gostaríamos de sua opinião pessoal. Você pode escolher qualquer número de 1 até 5.

Por favor, para cada frase, marque com um “X” a sua resposta.	QN				QS
	1	2	3	4	5
1. Sou realmente crítico e severo com meus próprios erros e defeitos.					
2. Quando fico “pra baixo”, não consigo parar de pensar em tudo que está errado comigo.					
3. Quando as coisas vão mal para mim, vejo as dificuldades como parte da vida e que acontecem com todo mundo.					
4. Quando penso nos meus defeitos, eu me sinto realmente isolado do resto do mundo.					
5. Tento ser amável comigo quando me sinto emocionalmente mal.					
6. Quando eu falho em algo importante para mim, fico totalmente consumido por sentimentos de incompetência.					
7. Quando me sinto realmente mal, lembro que há outras pessoas no mundo se sentindo como eu.					
8. Quando as coisas estão realmente difíceis, costumo ser duro comigo mesmo.					
9. Quando algo me deixa aborrecido, tento buscar equilíbrio emocional.					
10. Quando percebo que fui inadequado, tento lembrar que a maioria das pessoas também passa por isso.					
11. Sou intolerante e impaciente com os aspectos de que não gosto na minha personalidade.					
12. Quando estou passando por um momento realmente difícil, eu me dou o apoio e o cuidado de que preciso.					
13. Quando fico “pra baixo”, sinto que a maioria das pessoas é mais feliz do que eu.					
14. Quando algo doloroso acontece, tento ver a situação de forma equilibrada.					
15. Tento entender meus defeitos como parte da condição humana.					
16. Quando vejo características que eu não gosto em mim, sou duro comigo mesmo.					
17. Quando eu falho em algo importante para mim, tento ver as coisas por outro ângulo.					
18. Quando passo por dificuldades emocionais, costumo pensar que as coisas são mais fáceis para as outras pessoas.					
19. Sou bondoso comigo quando estou passando por algum sofrimento.					
20. Quando algo me deixa incomodado, sou completamente tomado por sentimentos negativos.					
21. Costumo ser um pouco insensível comigo quando estou sofrendo.					
22. Quando fico “pra baixo”, tento aceitar e entender meus sentimentos.					
23. Sou tolerante com meus próprios erros e defeitos.					
24. Quando algo doloroso acontece comigo, costumo reagir de forma exagerada.					
25. Quando eu falho em algo importante para mim, costumo me sentir muito sozinho nessa situação.					
26. Tento ser compreensivo e paciente com os aspectos da minha personalidade dos quais não gosto.					

ANEXO B – ESCALA DE DEPRESSÃO, ANSIEDADE E ESTRESSE (DASS-21)



Universidade Federal de São Paulo
Campus Baixada Santista

Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Ciências da Saúde

DASS – 21 Versão traduzida e validada para o português do Brasil
Autores: Vignola, R.C.B. & Tucci, A.M.

Instruções

Por favor, leia cuidadosamente cada uma das afirmações abaixo e circule o número apropriado 0,1,2 ou 3 que indique o quanto ela se aplicou a você durante a última semana, conforme a indicação a seguir:

- 0 Não se aplicou de maneira alguma
- 1 Aplicou-se em algum grau, ou por pouco de tempo
- 2 Aplicou-se em um grau considerável, ou por uma boa parte do tempo
- 3 Aplicou-se muito, ou na maioria do tempo

1	Achei difícil me acalmar	0 1 2 3
2	Senti minha boca seca	0 1 2 3
3	Não consegui vivenciar nenhum sentimento positivo	0 1 2 3
4	Tive dificuldade em respirar em alguns momentos (ex. respiração ofegante, falta de ar, sem ter feito nenhum esforço físico)	0 1 2 3
5	Achei difícil ter iniciativa para fazer as coisas	0 1 2 3
6	Tive a tendência de reagir de forma exagerada às situações	0 1 2 3
7	Senti tremores (ex. nas mãos)	0 1 2 3
8	Senti que estava sempre nervoso	0 1 2 3
9	Preocupe-me com situações em que eu pudesse entrar em pânico e parecesse ridículo (a)	0 1 2 3
10	Senti que não tinha nada a desejar	0 1 2 3
11	Senti-me agitado	0 1 2 3
12	Achei difícil relaxar	0 1 2 3
13	Senti-me depressivo (a) e sem ânimo	0 1 2 3
14	Fui intolerante com as coisas que me impediam de continuar o que eu estava fazendo	0 1 2 3
15	Senti que ia entrar em pânico	0 1 2 3
16	Não consegui me entusiasmar com nada	0 1 2 3
17	Senti que não tinha valor como pessoa	0 1 2 3
18	Senti que estava um pouco emotivo/sensível demais	0 1 2 3
19	Sabia que meu coração estava alterado mesmo não tendo feito nenhum esforço físico (ex. aumento da frequência cardíaca, disritmia cardíaca)	0 1 2 3
20	Senti medo sem motivo	0 1 2 3
21	Senti que a vida não tinha sentido	0 1 2 3

ANEXO C – ESCALA DE ATENÇÃO E CONSCIÊNCIA PLENAS (MAAS)

1	2	3	4	5	6				
Quase sempre	Muito Frequentemente	Relativamente Frequente	Raramente	Muito raramente	Quase nunca				
1	Eu poderia experimentar alguma emoção e só tomar consciência dela algum tempo depois			1	2	3	4	5	6
2	Eu quebro ou derramo as coisas por falta de cuidado, falta de atenção, ou por estar pensando em outra coisa			1	2	3	4	5	6
3	Eu tenho dificuldade de permanecer focado no que está acontecendo no presente			1	2	3	4	5	6
4	Eu costumo andar rápido para chegar ao meu destino, sem prestar atenção ao que eu vivencio no caminho			1	2	3	4	5	6
5	Eu não costumo notar as sensações de tensão física ou de desconforto até que elas realmente chamem a minha atenção			1	2	3	4	5	6
6	Eu esqueço o nome das pessoas quase imediatamente após eu tê-lo ouvido pela primeira vez			1	2	3	4	5	6
7	Parece que eu estou “funcionando no piloto automático”, sem muita consciência do que estou fazendo			1	2	3	4	5	6
8	Eu realizo as atividades de forma apressada, sem estar realmente atento a elas			1	2	3	4	5	6
9	Eu fico tão focado no objetivo que quero atingir, que perco a noção do que estou fazendo agora para chegar lá			1	2	3	4	5	6
10	Eu realizo trabalhos e tarefas automaticamente, sem estar consciente do que estou fazendo			1	2	3	4	5	6
11	Eu me percebo ouvindo alguém falar e fazendo outra coisa ao mesmo tempo			1	2	3	4	5	6
12	Eu dirijo no “piloto automático” e depois penso porque eu fui naquela direção			1	2	3	4	5	6
13	Encontro-me preocupado com futuro ou com o passado			1	2	3	4	5	6
14	Eu me pego fazendo coisas sem prestar atenção			1	2	3	4	5	6
15	Eu como sem estar consciente do que estou comendo			1	2	3	4	5	6

Note. To make the score add up the answers and divide by 15, higher values represent higher levels of mindfulness.

ANEXO D – ESCALA DE CONEXÃO COM A NATUREZA (ECN-14)

Itens	Conteúdo dos itens
12	Com frequência, sinto-me parte da teia da vida.
11	Sinto, com frequência, uma identificação com animais e plantas.
10	Sinto que todos os habitantes da Terra, humanos e não humanos, compartilham uma força vital comum.
06	Da mesma forma que uma árvore pode fazer parte da floresta, me sinto parte da natureza como um todo.
02	Penso na natureza como uma comunidade da qual faço parte.
08	Muitas vezes sinto uma sensação de união com a natureza ao meu redor.
05	Quando penso em minha vida, me vejo como parte de um amplo processo cíclico de existência.
09	Reconheço e aprecio a inteligência de outros seres vivos.
13	Tenho um entendimento claro de como minhas ações afetam a natureza.
03	Tenho a sensação de que pertenço à Terra da mesma forma que ela me pertence.
07	Frequentemente me sinto desconectado(a) da natureza. (R)
01	Muitas vezes sinto que sou apenas uma pequena parte da natureza ao meu redor, e que não sou mais importante que a grama no chão ou os pássaros.
04	Meu bem-estar pessoal independe do bem-estar da natureza. (R)
14	Quando penso sobre meu lugar na Terra, me considero no topo da hierarquia que existe na natureza. (R)

ANEXO E – ESCALA DE SATISFAÇÃO COM A VIDA

Appendix: Brazilian Version of the Satisfaction with Life Scale

Instruções

Logo abaixo, você encontrará 5 afirmativas. Assinale na escala abaixo de cada afirmativa o quanto ela descreve a sua situação pessoal. Não há respostas certas ou erradas, mas é importante você marcar com sinceridade como você se sente com relação a cada uma dessas afirmativas.

A minha vida está próxima do meu ideal.

Discordo Plenamente _1_1_2_3_4_5_6_7_ Concordo Plenamente

Minhas condições de vida são excelentes.

Discordo Plenamente _1_1_2_3_4_5_6_7_ Plenamente

Eu estou satisfeito com a minha vida.

Concordo Plenamente _1_1_2_3_4_5_6_7_ Discordo Plenamente

Até agora eu tenho conseguido as coisas importantes que eu quero na vida.

Concordo Plenamente _1_1_2_3_4_5_6_7_ Discordo Plenamente

Se eu pudesse viver a minha vida de novo eu não mudaria quase nada.

Concordo Plenamente _1_1_2_3_4_5_6_7_ Discordo Plenamente

APÊNDICES

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO SOCIODEMOGRÁFICO

Questionário sociodemográfico

A seguir você responderá algumas questões pessoais, mas não se preocupe sua identidade permanecerá em sigilo.

1- Identificação (Nome completo) *

Sua resposta _____

2- Idade (coloque apenas números) *

Sua resposta _____

3- Peso e altura? (utilize a / para separar as informações)

Sua resposta _____

4- Sexo *

- ☐ Masculino
- ☐ Feminino
- ☐ Prefiro não declarar

5- Estado civil *

- ☐ Solteiro(a)
- ☐ Casado(a)/União estável
- ☐ Divorciado(a)/Separado(a)
- ☐ Viúvo(a)
- ☐ Outro: _____

6- Qual a sua cidade de residência? *

Sua resposta _____

7- Qual o seu nível de escolaridade completo? *

- ☐ Ensino médio
- ☐ Graduação
- ☐ Pós graduação (especialização)
- ☐ Mestrado
- ☐ Doutorado

8- Universidade *

☐ UFPB

☐ Outro: _____

9- Caso esteja na graduação (ou já tenha formação), qual o curso? *

Sua resposta _____

10- Caso esteja na graduação, qual período você está cursando? (coloque apenas * o número do período. Caso esteja na pós, coloque N/A).

Sua resposta _____

11- Se estiver cursando pós-graduação, a qual programa você está vinculado(a)?

Sua resposta _____

12- Qual a porcentagem do curso de pós-graduação concluída?

☐ < 50%

☐ 50%

☐ > 50%

13- Você trabalha além da universidade? *

☐ Sim

☐ Não

14- Você está em acompanhamento psicológico? *

☐ Sim

☐ Não

15- Você está fazendo uso de alguma medicação para sintomas psicológicos? *

☐ Sim

☐ Não

16- Caso a resposta da pergunta anterior seja "sim", qual a medicação? (opcional)

Sua resposta

17- Quais dessas práticas de bem-estar você praticou nos últimos 6 meses? *
(Pode marcar mais de uma opção)

- ☐ Yoga
- ☐ Meditação
- ☐ Musculação
- ☐ Corrida
- ☐ Caminhada
- ☐ Nenhuma
- ☐ Outro: _____

18- Você se considera destro(a), canhoto(a) ou ambidestro(a)? *

- ☐ Destro(a)
- ☐ Canhoto(a)
- ☐ Ambidestro(a)

19- Você já usou um óculos de realidade virtual? *

- ☐ Sim
- ☐ Não

APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Convidamos o (a) Sr. (a) para participar, como voluntário (a), da pesquisa intitulada “CONTATO COM A NATUREZA E REALIDADE VIRTUAL: EFEITOS PSICOFISIOLÓGICOS EM UNIVERSITÁRIOS” que está sendo desenvolvida por Thalita Viegas dos Santos Lima, aluna regularmente matriculada no curso de Mestrado pelo Programa de Pós-graduação em Neurociência Cognitiva e Comportamento (PPGNeC/UFPB) sob orientação do Prof. Dr. Luiz Carlos Serramo Lopez. Caso haja alguma dúvida, envie um e-mail para os pesquisadores, para que o (a) senhor (a) esteja bem esclarecido (a) sobre tudo o que está respondendo. Os pesquisadores garantem o sigilo e anonimato quanto aos dados confidenciais envolvidos na pesquisa. Após ser esclarecido (a) sobre as informações a seguir, caso aceite fazer parte do estudo, marque a opção “Aceito participar da pesquisa” ao final deste documento. Em caso de recusa o (a) Sr. (a) não será penalizado (a) de forma alguma. Também garantimos que o(a) Senhor(a) tem o direito de retirar o consentimento da sua participação em qualquer fase da pesquisa, sem qualquer penalidade. O presente estudo tem como objetivo investigar os efeitos restaurativos do contato com a natureza, por meio da realidade virtual, no bem-estar físico e mental dos indivíduos após um evento estressor aritmético induzido. Ao aceitarem participar da pesquisa, será agendado com cada voluntário o momento da sua participação no laboratório LECOPSI, situado na UFPB, onde será conduzido o experimento. Para mensurar os aspectos psicológicos dos voluntários serão utilizadas escalas de autorrelato que estão presentes neste formulário. Serão utilizados dois equipamentos: Oculus Meta Quest 2, para a exposição da realidade virtual através do jogo Nature Treks VR e Polar H10, para a medição da frequência cardíaca. Antes da exposição da realidade virtual, o voluntário será submetido a um teste matemático. Agradecemos e solicitamos sua colaboração para reservar, em média, de 10 a 15 minutos para responder todos os itens deste formulário. Nas próximas seções serão dispostos os seguintes questionários: Questionário Sociodemográfico, a fim de caracterizar a amostra dos participantes com informações de idade, sexo, escolaridade etc.; Escala de Autocompaixão com o objetivo de mensurar o nível de autocompaixão ao passar por momentos difíceis; a Escala de Ansiedade, Depressão e Estresse 43 (DASS-21) a fim de mensurar os sintomas de estresse, ansiedade e depressão e seus processos envolvidos; Escala de Atenção e Consciência Plenas (MAAS), com o objetivo de mensurar o estado de consciência; Escala de Conexão com a Natureza (ECN) para avaliar o nível de integração com o meio ambiente e, por fim, a Escala de Satisfação com a Vida. Não é necessário refletir ou pensar por longos períodos para responder a cada item. Seja sincero (a), dê a sua resposta de forma espontânea. Não há respostas certas ou erradas. Como benefício, o preenchimento dos questionários também poderá levar os participantes a refletirem sobre seus sentimentos. No total, o experimento dura, em média, 45 minutos. Uma vez concordando em participar dessa pesquisa, é preciso assinalar a caixa “aceito” desse termo, no qual será disponibilizado para você uma via para o e-mail informado neste formulário eletrônico. Agradecemos desde já seu interesse e colaboração com o estudo.

Em caso de dúvidas referentes ao estudo ou aos seus aspectos éticos, segue os contatos que poderá consultar:

Thalita Viegas dos Santos Lima (pesquisadora responsável)

Telefone: (83) 99993-6166

Email: thalita.viegas@academico.ufpb.br

Endereço: Laboratório de Ecologia Comportamental e Psicobiologia DSE/CCEN – UFPB – Campus I – Cidade Universitária, s/n - Castelo Branco, João Pessoa - PB, 58051-900

Prof. Dr. Luiz Carlos Serramo Lopez (orientador responsável)

Telefone: (83) 3216-7200

Email: lcslopez@dse.ufpb.br

Endereço: Laboratório de Ecologia Comportamental e Psicobiologia DSE/CCEN – UFPB – Campus I – Cidade Universitária, s/n - Castelo Branco, João Pessoa - PB, 58051-900

Contato Comitê de Ética: Comitê de Ética do CCS

Telefone: (83) 3216 7791

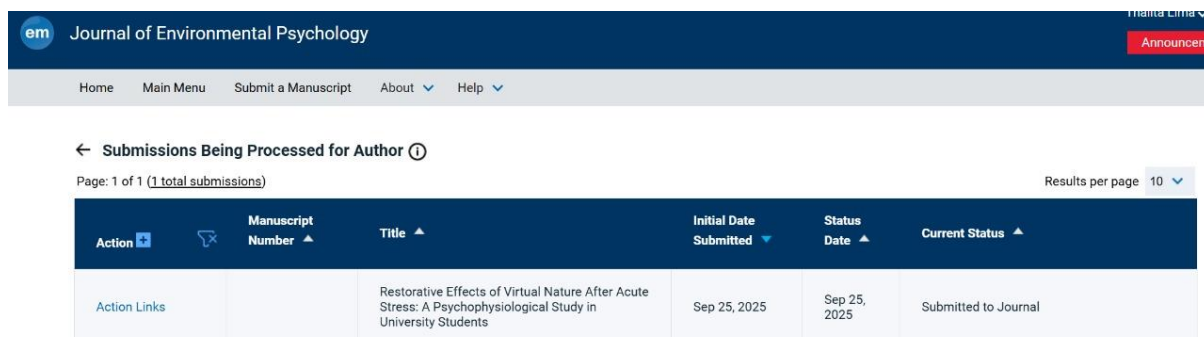
E-mail: eticaccsufpb@hotmail.com

Endereço: Centro de Ciências da Saúde - 1º andar / Campus I / Cidade Universitária / CEP: 58.051-900

Após ter lido os esclarecimentos prestados anteriormente no presente Termo de *
Consentimento Livre e Esclarecido, eu estou permitindo que os dados obtidos
sejam utilizados para os fins da pesquisa, estando ciente que os resultados serão
publicados para difusão e progresso do conhecimento científico e que minha
identidade será preservada. Consentimento da participação como voluntário (a):

☒ Aceito participar da pesquisa

APÊNDICE C - COMPROVAÇÃO DE SUBMISSÃO ARTIGO EM REVISTA E ARTIGO COMPLETO



The screenshot shows the 'Journal of Environmental Psychology' website. The user is logged in as 'Thalita Lima'. The page title is 'Submissions Being Processed for Author'. It shows 1 total submission. The submission table has columns for Action, Manuscript Number, Title, Initial Date Submitted, Status Date, and Current Status. The submission is titled 'Restorative Effects of Virtual Nature After Acute Stress: A Psychophysiological Study in University Students' and is in 'Submitted to Journal' status.

Action	Manuscript Number	Title	Initial Date Submitted	Status Date	Current Status
Action Links		Restorative Effects of Virtual Nature After Acute Stress: A Psychophysiological Study in University Students	Sep 25, 2025	Sep 25, 2025	Submitted to Journal

TITLE

Restorative Effects of Virtual Nature After Acute Stress: A Psychophysiological Study in University Students

ABSTRACT

Exposure to nature has been widely associated with physiological and psychological benefits, including stress reduction and improved autonomic regulation. However, access to real natural environments is often limited in urban academic settings. This experimental, cross-over study aimed to examine the immediate effects of a brief virtual nature exposure, via the game *Nature Treks VR*, on heart rate variability (HRV) in university students following cognitive stress induction. Thirty-nine participants (aged 18–30) were randomly assigned to one of two conditions: passive rest followed by virtual nature, or the reverse order. HRV and heart rate (HR) were continuously recorded using a Polar H10 chest strap throughout baseline, stress, intervention, and recovery phases. Psychological scales were administered at baseline to assess individual differences. Results showed significant physiological stress during the Forms phase (psychological questionnaires), with reductions in RMSSD and HF, followed by recovery during both passive rest and virtual nature phases. Although between-group differences were limited, the experimental group showed a significantly greater reduction in HR post-

intervention. Correlation analyses indicated that participants with higher levels of depression and stress exhibited lower vagal recovery (RMSSD and SDNN), while mindfulness and life satisfaction were positively associated with parasympathetic markers. These findings suggest that virtual nature exposure may serve as a complementary tool for stress management in academic environments. However, individual psychological profiles appear to moderate the physiological outcomes, highlighting the importance of tailoring interventions. Further research with larger samples and longitudinal designs is warranted.

KEYWORDS: Virtual reality; Heart rate variability; Nature exposure; Stress recovery; Autonomic regulation; University students

HIGHLIGHTS

- Virtual nature exposure was tested after cognitive stress induction.
- Psychological forms phase triggered more stress than the cognitive task.
- Both VR and passive rest promoted autonomic recovery post-stressor.
- Only the VR group showed a significant drop in heart rate.
- Depression, stress, and mindfulness influenced recovery responses.

1. INTRODUCTION

Chronic stress among university students has become a growing public health concern, with implications for both psychological well-being and physiological regulation. Urbanization has been directly associated with deteriorating mental health, and reduced contact with nature is considered a significant predictor of increased stress levels in urban populations (Ventriglio et

al., 2020).

A growing body of evidence suggests that exposure to natural environments is associated with decreased stress, anxiety, and depressive symptoms, improved mood, enhanced subjective well-being, better cognitive functioning, and even physiological benefits such as reduced blood pressure, cortisol levels, and improved heart rate variability (Maas et al., 2009; Keniger et al., 2013; Yang et al., 2021; Aras et al., 2024).

The biophilia hypothesis (Wilson, 1984) proposes that humans have an innate affinity for natural environments, shaped by evolutionary processes. This connection fosters emotional regulation, cognitive restoration, and the development of pro-environmental behaviors (Martin et al., 2020; Gunnarsson & Hedblom, 2023). Two major theories help explain the benefits of nature exposure: Attention Restoration Theory (ART), which posits that green environments restore attentional capacity (Kaplan, 2001), and Stress Recovery Theory (SRT), which argues that natural settings facilitate physiological stress recovery (Ulrich, 1991). The cumulative evidence indicates that contact with nature can lead to restorative effects on physiological and psychological health, recovery from attentional fatigue, reductions in psychophysiological stress, and enhanced positive affect (Ulrich et al., 1991; Kaplan, 1989; Tyrväinen et al., 2014).

However, access to nature is often limited in urban environments due to factors such as distance, safety concerns, or lack of green spaces. In this context, virtual reality (VR) has emerged as a promising alternative, providing immersive natural experiences even in constrained settings. Recent studies have demonstrated psychological and physiological benefits from virtual nature exposure, whether through 360° images, videos, or interactive simulations such as the Nature Treks VR game (Martin et al., 2020; Mattila et al., 2020; Sanchez-Nieto et al., 2023).

Heart rate variability (HRV) is a well-established biomarker for autonomic nervous system

regulation and has been increasingly used in psychophysiological research to evaluate stress and relaxation responses (Shaffer et al., 2014; McCraty & Shaffer, 2015). It offers an objective measure of physiological recovery and complements self-reported psychological outcomes.

Despite promising findings, the current literature presents key gaps: most studies rely on passive exposure to virtual nature, lack standardized stress-induction protocols, and frequently target clinical populations. Moreover, few experimental studies have assessed the immediate psychophysiological effects of interactive VR nature exposure in healthy young adults using HRV as a primary outcome.

Understanding how immersive virtual environments impact acute stress recovery can inform low-cost, scalable mental health interventions in academic and urban settings.

The present study aims to examine the immediate restorative effects of brief exposure to interactive virtual nature, via the Nature Treks VR game, on heart rate variability following an arithmetic stressor task in university students.

We hypothesize that:

1. Participants exposed to virtual nature will show greater HRV recovery compared to those in the passive resting control condition.
2. HRV levels in the VR group will return more quickly to baseline following the stressor, indicating enhanced physiological restoration.

2 METHODS

2.1 Study Design and Characterization

This study was an experimental, within-subject, and cross-sectional design, with order effects controlled through counterbalancing.

2.2 Eligibility

Participants were university students aged between 18 and 30 years, recruited through online advertising (Instagram) and printed flyers with QR codes distributed across facilities at the Federal University of Paraíba (UFPB). Inclusion criteria included being regularly enrolled in undergraduate or graduate programs and voluntarily expressing interest in participating in the study. No exclusions were made based on physical or mental health history or medication use, as the study was exploratory and aimed to reflect the diversity of the university population.

2.3 Ethical Considerations

The study was approved by the Research Ethics Committee involving Human Subjects at the Federal University of Paraíba (approval number: 79203324.7.0000.5188), in accordance with Resolution No. 466/2012 of the Brazilian National Health Council. All participants were informed about the study's objectives, procedures, risks, and benefits, and provided written informed consent before participation.

2.4 Instruments

2.4.1 Physiological Measures

Heart rate variability (HRV) was continuously recorded using the Polar® H10 chest strap

throughout all experimental phases. The device uses Bluetooth connectivity to transmit data and was paired with the Elite HRV app, available free on the PlayStore (https://play.google.com/store/apps/details?id=com.elitehrv.app&hl=pt_BR).

2.4.2 Psychological Measures

Participants completed a sociodemographic questionnaire and a set of validated psychological instruments in Brazilian Portuguese. All scales were administered via an online form (Google Forms) accessed on a laboratory computer.

- Self-Compassion Scale (SCS): Developed by Neff (2003) and validated in Brazil by Souza and Hutz (2016), this 26-item instrument measures how individuals respond to suffering with kindness and understanding. It includes six subscales and uses a 5-point Likert scale (1 = Almost never; 5 = Almost always). It showed excellent internal consistency ($\alpha = 0.92$).
- Depression, Anxiety, and Stress Scale (DASS-21): Adapted for Brazil by Vignola and Tucci (2014), this 21-item scale assesses emotional distress across three subscales. It uses a 4-point Likert scale (0 = Did not apply at all; 3 = Applied most of the time). Internal consistency was high for each subscale ($\alpha = 0.92$ for depression, $\alpha = 0.90$ for stress, and $\alpha = 0.86$ for anxiety).
- Mindful Attention Awareness Scale (MAAS): Validated by Barros et al. (2015), this 15-item scale measures dispositional mindfulness using a 6-point scale (1 = Almost always; 6 = Almost never), with satisfactory internal consistency ($\alpha = 0.83$).
- Connectedness to Nature Scale (CNS): Adapted by Pessoa et al. (2016), this 14-item scale

evaluates affective and cognitive connection to the natural environment on a 5-point Likert scale (1 = Strongly disagree; 5 = Strongly agree), with good reliability ($\alpha = 0.82$).

- Satisfaction With Life Scale (SWLS): Validated by Zanon et al. (2014), this 5-item scale assesses the cognitive dimension of subjective well-being using a 7-point Likert scale (1 = Strongly disagree; 7 = Strongly agree), with high internal consistency ($\alpha = 0.87$).

These instruments were chosen for their psychometric robustness, theoretical relevance, and appropriateness for the target population, offering a comprehensive subjective complement to the physiological data.

2.4.3 Virtual Reality Intervention

To promote an autonomic restorative response, participants were exposed to the Nature Treks VR game using the Meta® Quest 2 headset. The game allows users to explore a variety of nature scenarios such as oceans, savannas, waterfalls, beaches, or forests. For this study, the "Green Meadows" scenario was selected, featuring an open field forest with ambient nature sounds and visual stimuli of vegetation and fauna. The environment enables both visual exploration and user locomotion, as well as interaction with environmental elements such as planting trees or summoning butterflies, and modifying weather conditions (e.g., rain, sun, day/night cycles). These features were intended to enhance immersion and the feeling of being in nature.

2.5 Experimental Procedure

Sessions were conducted individually in the Behavioral Ecology and Psychobiology Laboratory (LECOPSI) at UFPB. Upon arrival, participants received instructions about the procedure and equipment use. The Polar H10 chest strap was fitted at the beginning and remained in place throughout the entire protocol to allow continuous HRV monitoring. The graphical representation of the experimental protocol is shown in Figure 1.

The experimental protocol consisted of the following stages:

- Baseline: HRV recorded for 6 minutes with the participant seated, eyes closed, and silent.
- Psychological Scales: Participants completed the instruments listed in section 3.4 via a digital form.
- Cognitive Stressor: A 5-minute serial subtraction task (e.g., subtracting 7 from 532 continuously) without external assistance.
- Intervention (crossover design): Participants were randomly assigned to two groups with reversed exposure order:
 - Experimental Group: First experienced the Green Meadows scenario in Nature Treks VR for 6 minutes, followed by passive rest (eyes closed) for another 6 minutes.
 - Control Group: Followed the inverse sequence: passive rest followed by the VR exposure, each lasting 6 minutes.
- Post-Intervention Baseline: A second 6-minute HRV recording to assess return to baseline.

2.6 Data Analysis

Statistical analyses were conducted to assess the restorative effects of virtual nature on physiological parameters and to explore associations with psychological characteristics. Data were tabulated in Excel, with HRV averages extracted from each phase using Kubios HRV

Scientific software (version 4.1). Inferential analyses were conducted in Jamovi (version 2.6).

Normality tests (Shapiro-Wilk) indicated that most physiological variables were non-normally distributed. Therefore, non-parametric statistical tests were used for subsequent analyses.

Between-group differences (restorative effect of the intervention) were analyzed using the Mann-Whitney U test, focusing on heart rate and HRV before and after the interventions.

Within-group differences (pre- vs. post-intervention) were assessed using linear mixed models to account for the repeated measures and the crossover design. These models evaluated physiological changes over time and across conditions, adjusting for individual variability.

Additionally, Spearman correlations were computed between psychological scale scores (self-compassion, depression, anxiety, stress, mindfulness, connectedness to nature, and life satisfaction) and participants' physiological change scores ("restorative deltas"), defined as the difference between pre- and post-intervention values.

A significance level of $p < 0.05$ was adopted for all analyses, and effect sizes were calculated where applicable to support interpretation of statistical outcomes.

For transparency and open science purposes, all data used in the statistical analyses are publicly available on the Open Science Framework (OSF) platform at <https://osf.io/cjrzy/>. To ensure participant privacy, no identifying information is included.

3 RESULTS

3.1 Participants

A total of 39 university students participated in the study (61% female), including 29 undergraduate and 10 graduate students. Participants were randomly assigned to either the experimental group ($n = 19$) or the control group ($n = 20$). The mean age was 22.59 years ($SD = 2.83$). Most participants were right-handed ($n = 31$), and approximately one-third reported

undergoing psychological treatment ($n = 12$) or using medication for psychological symptoms ($n = 10$), as presented in Table 1.

3.2 Between-Group Comparisons

First, the number of participants in each group who exhibited an autonomic response to the stressor was assessed. They were classified as responders (decrease in RMSSD) or non-responders. A chi-square test indicated no significant difference in the proportion of participants who recovered after the stressor phase between the experimental (63.2%) and control groups (70.0%), $\chi^2(1, N = 39) = 0.205$, $p = .651$, Fisher's $p = .741$.

Considering only participants who showed an initial decrease in RMSSD during the stressor phase ($n = 10$), 100% of those in the experimental group recovered, compared to 75% in the control group. However, this difference was not statistically significant, $\chi^2(1, N = 10) = 0.625$, $p = .429$, Fisher's $p = 1.000$, possibly due to the small sample size.

Group comparisons on immediate and sustained restorative deltas revealed no statistically significant differences for RMSSD and SDNN. In normalized spectral measures, LF values approached significance ($U = 121$, $p = 0.054$, $r = 0.36$), as did HF values ($U = 122$, $p = 0.057$, $r = -0.36$). The only significant difference between groups was observed in the immediate delta for heart rate (HR) (as shown in Table 2), with a greater reduction in the experimental group compared to the control ($U = 117$, $p = 0.041$, $r = -0.38$). No sustained differences between groups were found in the final phase.

An analysis of covariance (ANCOVA) was conducted to compare RMSSD during the stressor phase between groups, using RMSSD from the Forms phase as a covariate. The group effect was not statistically significant, $F(1,36) = 3.50$, $p = 0.069$. However, the effect size (partial $\eta^2 = 0.089$) suggested that approximately 9% of RMSSD variability during the stressor phase was

explained by group membership after adjusting for baseline. Adjusted means suggested higher RMSSD values in the experimental group, which may indicate a distinct autonomic response pattern, despite the lack of statistical significance.

3.3 Within-Group Analyses

Within-group analyses revealed that, in both groups, the Forms phase was associated with the highest physiological stress levels. In the experimental group, RMSSD was significantly lower during the Forms phase (Median = 21.6 ms) compared to Baseline (Median = 27.2 ms; $W = 45$, $p = 0.049$) and the Stressor phase (Median = 33.1 ms; $W = 19$, $p < 0.001$), with no significant difference between Baseline and Stressor ($p = 0.087$). The same pattern was observed in the control group: RMSSD during Forms (Median = 32.1 ms) was lower than both Baseline (Median = 39.7 ms; $W = 47$, $p = 0.007$) and Stressor (Median = 36.2 ms; $W = 68$, $p = 0.044$), with no difference between Baseline and Stressor ($p = 0.546$). These findings confirm that the Forms phase consistently triggered greater reductions in HRV (Table 3).

Other indices supported this pattern. In the experimental group, SDNN was significantly lower during Forms (Median = 26.8 ms) compared to the Stressor phase (Median = 36.1 ms; $W = 29$, $p = 0.003$), indicating greater overall variability during the stressor compared to the initial self-report phase. In the frequency domain, LF in normalized units increased from the Forms phase (Median = 52.1) to the Stressor (Median = 61.8; $W = 34$, $p = 0.023$), while HF in n.u. decreased from Baseline (Median = 43.5) to Forms (Median = 33.1; $W = 32$, $p = 0.021$). In the control group, a similar significant drop in HF was observed from Baseline (Median = 41.9) to Forms (Median = 35.5; $W = 50$, $p = 0.041$), indicating reduced parasympathetic activity.

Additionally, HR increased significantly in the control group from Baseline (Median = 76 bpm) to Forms (Median = 82 bpm; $W = 20$, $p = 0.002$), further indicating greater autonomic activation during questionnaire completion.

3.4 Linear Mixed Models (Phase $\times$ Group)

Initial comparisons using Mann-Whitney tests on immediate and sustained deltas showed a significant difference only for immediate HR ($p = 0.041$), suggesting greater heart rate deceleration in the experimental group.

However, because this test assesses independent time points, linear mixed models were applied to simultaneously analyze the effects of time (protocol phases), group, and the time $\times$ group interaction.

The mixed-model analysis showed a significant difference across phases of the experiment, $F(5,165) = 9.42$, $p < .001$, indicating that the stressor and subsequent stages induced changes in HRV (RMSSD). Specifically, there was a significant RMSSD reduction during the Forms phase compared to Baseline ($p = .001$), suggesting that this stage was perceived as particularly stressful. A significant increase in RMSSD was then observed during the VR phase compared to Baseline ($p = .002$), indicating autonomic recovery.

However, the Group $\times$ Phase interaction was not significant ($p = .359$), suggesting that the recovery observed occurred similarly in both the experimental (VR exposure) and control (passive rest) groups. Thus, while the VR game demonstrated a restorative effect, passive rest also promoted recovery, making it statistically inconclusive to affirm that VR was superior to the control condition (Table 4).

To illustrate changes across experimental phases between groups, the following graphs present the evolution of key physiological indices: RMSSD, HF, and HR. Values represent group means per phase with standard error bars, highlighting the main differences identified in the statistical models. Figure 2 illustrates the progression of RMSSD across the different experimental phases, highlighting autonomic recovery following the virtual nature exposure.

Figure 3 shows the evolution of HF values over time. A noticeable increase can be seen after the Forms phase, especially in the experimental group. Also, figure 4 illustrates the variation in high-frequency heart rate variability (HF-Log) across experimental phases for the control and experimental groups. A decrease in HF values is observed during the Forms phase in both groups, indicating a reduction in parasympathetic activity. This is followed by an increase during the Stressor phase, particularly in the experimental group. Although the experimental group shows slightly lower HF values overall compared to the control group, both groups appear to recover during the Passive Rest and Virtual Nature phases, with values rising again in the Post-baseline phase.

As shown in figure 5, boxplots illustrate RMSSD values across experimental phases, separated by group. In both groups, a noticeable decrease in RMSSD is observed during the Forms phase, suggesting a drop in parasympathetic activity during the self-report period. This is followed by a recovery in subsequent phases. In the control group, RMSSD values increased during the Stressor and Passive Rest phases, while in the experimental group, a more prominent increase is seen during the Virtual Nature phase. Both groups show a tendency to return toward baseline levels by the Post-baseline phase, though with greater variability in the experimental group. These patterns are consistent with the observed effects of cognitive demand and subsequent recovery.

Figure 6 displays boxplots of HF (high-frequency power in normalized units) across experimental phases for both the control and experimental groups. In both groups, HF values dropped notably during the Forms phase, indicating reduced parasympathetic activity. A recovery pattern is observed in the subsequent phases, with increased HF during the Stressor and especially during the Virtual Nature phase in the experimental group. In the Post-baseline phase, both groups show relatively stabilized HF values, with slightly higher dispersion in the

experimental group. These patterns align with the expected physiological response to stress and subsequent recovery.

Figure 7 presents boxplots of mean heart rate (HR) across the different experimental phases for both groups. In the control group, HR increased during the Forms and Stressor phases, then gradually decreased during Passive Rest and Post-baseline. In the experimental group, a similar increase is observed during the Forms and Stressor phases, but a more pronounced reduction follows the Virtual Nature phase, suggesting a stronger autonomic recovery. These results are consistent with the hypothesis that virtual nature exposure may promote greater physiological relaxation compared to passive rest.

Taken together, the boxplots presented in figures 5, 6, and 7 illustrate the physiological responses across phases for both groups. RMSSD and HF values showed significant reductions during the Forms phase, followed by gradual recovery in later phases—especially in the Virtual Nature phase for the experimental group. Conversely, mean heart rate (HR) increased during the stress-inducing stages and dropped more sharply in the experimental group after the VR exposure. Although statistical differences between groups were limited, the visual patterns across these physiological markers suggest that both passive rest and virtual nature contributed to autonomic recovery, with virtual nature potentially offering an enhanced effect.

3.5 Psychological Scale Correlations

Correlations between physiological variables and psychological scores revealed consistent patterns of association (as shown in table 5). Sustained Δ RMSSD was negatively correlated with depressive symptoms ($\rho = -0.500$, $p = 0.002$) and stress ($\rho = -0.412$, $p = 0.011$), indicating that participants experiencing higher psychological distress showed lower vagal recovery. Similarly, sustained Δ SDNN was also negatively associated with depression ($\rho = -0.352$, $p =$

0.033). Conversely, sustained ΔHR was positively correlated with depression ($\rho = 0.610$, $p < 0.001$) and stress ($\rho = 0.478$, $p = 0.002$), suggesting that higher psychological distress was linked to elevated residual heart rate.

Additionally, well-being variables showed positive associations: higher levels of mindfulness correlated with greater parasympathetic recovery in the experimental group, as indicated by restorative ΔHF ($\rho = 0.709$, $p < 0.001$) and restorative ΔLF ($\rho = 0.371$, $p = 0.020$). Finally, life satisfaction was negatively correlated with sustained ΔHR ($\rho = -0.472$, $p = 0.002$) and immediate ΔRMSSD ($\rho = -0.357$, $p = 0.026$), suggesting that participants more satisfied with their lives exhibited greater physiological recovery after the stressor.

Although no significant differences emerged between the experimental and control groups regarding restorative deltas, individual psychological factors—such as depression, stress, mindfulness, and life satisfaction—were strongly associated with physiological recovery. This suggests that the effect of VR exposure may depend more on participants' psychological characteristics than on the intervention itself.

4. Discussion

This study investigated the psychophysiological restorative effects of a brief exposure to virtual nature through the Nature Treks VR game following arithmetic stress induction in university students. The results confirmed the effectiveness of the protocol, showing increased heart rate and decreased HRV indices (RMSSD, HF, SDNN) during the stressor phase, followed by physiological recovery. This pattern aligns with the literature, confirming that serial subtraction tasks are valid for inducing acute psychological stress (Wang et al., 2005; Birkett, 2011).

4.1 Effects of Virtual Nature and Passive Rest

Both virtual reality and passive rest promoted physiological recovery post-stress. However, only heart rate showed a significant difference between groups, with greater reduction in the experimental group. This finding echoes previous reviews (Fan & Baharum, 2024) and aligns with the Stress Recovery Theory (Ulrich et al., 1991), which postulates that nature contact brings physiological benefits. The absence of significant HRV differences may reflect the sensitivity of these measures to individual variability and protocol duration (Kim et al., 2021; Anderson et al., 2017).

The Nature Treks VR game, which offers visual and auditory stimuli, is consistent with evidence suggesting that multisensory quality in virtual environments enhances restorative outcomes (Wang et al., 2019). Therefore, the absence of HRV differences is likely not due to session quality or duration, but possibly due to physiological measurement limitations or sample heterogeneity.

The interactive features of Nature Treks VR may have contributed to the observed heart rate reduction. Studies like Liszio & Masuch (2019) show that interactivity in natural virtual environments enhances HRV and emotional responses. Similarly, Sánchez-Nieto et al. (2023) and Frewen et al. (2020) demonstrated the benefits of VR nature in clinical populations, suggesting broad applicability.

4.2 Comparison to Other Interventions

When compared to passive rest, VR showed only partial advantages. The only significant between-group effect was heart rate reduction, though both groups demonstrated recovery. This

mirrors studies showing stronger VR effects on global measures (e.g., HR) than on nuanced autonomic indices (Mostajeran et al., 2023).

Among students, interventions such as mindfulness and psychoeducation have shown effectiveness in stress reduction, often moderated by individual traits like mindfulness and self-esteem (Sousa et al., 2021; Slimmen et al., 2022; Browning et al., 2023). Thus, individual differences likely influenced physiological variability in this study.

A meta-analysis by Sheffield, Butler & Richardson (2022) indicated that both real and virtual nature exposures increase nature connectedness, regardless of modality or engagement level. This supports VR as a valid alternative to direct contact, though repeated sessions appear more effective than a single exposure like in the present study.

4.3 Individual Differences and Psychological Correlates

Our correlation analyses revealed that higher depression and stress scores were linked to lower HRV recovery and elevated sustained HR. Conversely, greater mindfulness and life satisfaction were associated with more robust parasympathetic recovery. These findings underscore the role of psychological traits in modulating physiological stress responses.

This pattern is corroborated by studies showing that dispositional mindfulness facilitates better recovery and cortisol reduction post-intervention (Sousa et al., 2021), while nature connectedness and immersion predict greater psychological and physiological restoration (Spangenberg et al., 2022; Browning et al., 2023).

Consistent evidence shows VR nature reduces perceived stress across populations, including students (O'Meara et al., 2020; Ho et al., 2023), adolescents (Björling et al., 2022; Owens & Bunce, 2023), and clinical samples (Li et al., 2021; Reese et al., 2022). These effects often emerge more clearly in subjective measures, even when physiological markers show mixed results (Gentile et al., 2023).

4.4 Limitations and Future Directions

Several limitations must be acknowledged. First, psychological scales were only applied at baseline, limiting assessment of subjective change. Second, the intervention consisted of a single, brief session. Future studies should adopt longitudinal designs with repeated sessions to evaluate sustained effects.

Additionally, while HR showed significant group differences, HRV markers were less responsive, possibly due to individual variability or measurement sensitivity. The absence of a non-natural VR control group also limits conclusions about the specificity of the nature effect.

Future research should incorporate real-time psychological measures, compare natural versus non-natural VR content, and evaluate different levels of interactivity. Although conducted in a university setting, this protocol holds potential for clinical, corporate, and hospital environments, where stress recovery tools are increasingly relevant.

5. CONCLUSIONS

This study aimed to examine the effects of a brief virtual nature exposure on heart rate variability (HRV) in university students following cognitive stress induction. The results

confirmed the effectiveness of the protocol in eliciting autonomic activation and demonstrated that both passive rest and virtual reality immersion supported subsequent physiological recovery.

Although no consistent differences were observed between experimental conditions for most HRV parameters, the significant reduction in heart rate in the group exposed to virtual nature suggests a potentially stronger restorative effect of this condition. Furthermore, the correlations between physiological deltas and psychological variables underscore the role of individual traits, such as emotional symptoms and levels of mindfulness, in shaping how each participant responds to stress and recovery.

In conclusion, while virtual nature exposure does not replace real-life natural environments, it may serve as a complementary tool for promoting well-being and managing stress, particularly in academic settings. Future research with larger samples, varied VR environments, and longitudinal designs is needed to deepen our understanding of the mechanisms involved and strengthen the applicability of this technology in diverse contexts of mental health and well-being.