



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA – PPGFIS**

**KAIO EMANUEL DE SOUZA NUNES**

**EFEITO AGUDO DA NEUROMODULAÇÃO NÃO INVASIVA NA FUNÇÃO  
CARDIOVASCULAR, PERCEPÇÃO SUBJETIVA DE ESFORÇO E CAPACIDADE  
FUNCIONAL DE PESSOAS COM INSUFICIÊNCIA CARDÍACA: ensaio clínico  
randomizado e controlado**

**JOÃO PESSOA/PB**

**2025**

**KAIO EMANUEL DE SOUZA NUNES**

**EFEITO AGUDO DA NEUROMODULAÇÃO NÃO INVASIVA NA FUNÇÃO  
CARDIOVASCULAR, PERCEPÇÃO SUBJETIVA DE ESFORÇO E CAPACIDADE  
FUNCIONAL DE PESSOAS COM INSUFICIÊNCIA CARDÍACA: ensaio clínico  
randomizado e controlado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia, Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Fisioterapia.

Área de concentração: Processos de Avaliação e Intervenção em Fisioterapia.

Orientador: Prof. Dr. José Heriston de Moraes Lima.

JOÃO PESSOA/PB

2025

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

N972e Nunes, Kaio Emanuel de Souza.

Efeito agudo da neuromodulação não invasiva na função cardiovascular, percepção subjetiva de esforço e capacidade funcional de pessoas com insuficiência cardíaca : ensaio clínico randomizado e controlado / Kaio Emanuel de Souza Nunes. - João Pessoa, 2025.  
49 f. : il.

Orientação: José Heriston de Moraes Lima.  
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCS.

1. Insuficiência cardíaca. 2. Desempenho físico funcional. 3. Estimulação transcraniana por corrente contínua. 4. Frequência cardíaca. 5. Teste de caminhada. I. Lima, José Heriston de Moraes. II. Título.

UFPB/BC

CDU 616.12-008.315(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA



## ATA DE SESSÃO DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Curso de Pós-Graduação <b>PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA</b>	Instituição <b>UFPB</b>
Ata da Sessão de Defesa de Dissertação do (a) Mestrando(a) <b>KAIO EMANUEL DE SOUZA NUNES</b>	
Realizada no Dia <b>21/03/2025</b>	

Às 08:00 horas do dia 21 do mês de março do ano de 2025 realizou-se a sessão de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso de Mestrado, do(a) discente **KAIO EMANUEL DE SOUZA NUNES** intitulado: **EFEITO AGUDO DA NEUROESTIMULAÇÃO NÃO INVASIVA NA FUNÇÃO CARDIOVASCULAR DE PESSOAS COM INSUFICIÊNCIA CARDÍACA: ensaio clínico randomizado e controlado**. A banca examinadora foi composta pelos professores doutores **José Heriston de Moraes Lima** (orientador/UFPB), **Rafaela pedrosa** (membro interno/UFPB) e **Pollyana Soares de Abreu Moraes** (membro externo/UNIPÊ).

A sessão foi aberta pelo Presidente da banca professor **José Heriston de Moraes Lima** do Curso de Pós-Graduação em Fisioterapia, que assumiu a coordenação dos trabalhos e apresentou a banca examinadora. Em seguida, o candidato procedeu com a apresentação do trabalho. Após a exposição, seguiu-se o processo de arguição do mestrando. O primeiro examinador foi o (a) professor (a) doutor(a) **Rafaela pedrosa**, e logo após procederam a arguição os(as) professores doutores **Pollyana Soares de Abreu Moraes** e **José Heriston de Moraes Lima**. Em seguida a banca examinadora se reuniu reservadamente a fim de avaliar o desempenho do mestrando.

Diante do exposto e considerando que o mestrando, dentro do prazo regimental, cumpriu todas as exigências do Regimento Geral da UFPB, do Regulamento Geral dos Cursos de Pós-Graduação "Stricto Sensu" da UFPB e do Regulamento do programa, está apto a obter o **grau de Mestre em Fisioterapia**, a ser conferido pela Universidade Federal da Paraíba. A banca examinadora considerou **APROVADO** com as sugestões a serem efetivadas pelo discente no prazo regimental. Nada mais havendo a relatar a sessão foi encerrada às 9:30 horas. Eu, **José Heriston de Moraes Lima**, orientador do programa de Pós-Graduação em Fisioterapia/UFPB, lavrei a presente ata, que depois de lida e aprovada será assinada por mim e pelos membros da banca examinadora.



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA



João Pessoa, 21 de março de 2025.

Prof. Dr. José Heriston de Moraes Lima  
Orientador (UFPB)

Profa. Dra. Rafaela pedrosa  
Membro interno (UFPB)

Profa. Dra. Pollyana Soares de Abreu Moraes  
Membro externo (UNIPÉ)

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus queridos pais, cuja presença, amor e ensinamentos moldaram quem sou.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de todas as bênçãos, por iluminar meu caminho, conceder forças nos momentos de dificuldade e inspirar-me a seguir com fé e perseverança em cada etapa desta jornada.

Aos meus pais, Nestor Nunes e Maria Tereza, que sempre me ensinaram o valor do trabalho, da honestidade e da dedicação. Sou imensamente grato pelo amor incondicional, pelo apoio constante e por acreditarem em mim mesmo quando as incertezas surgiam. Vocês foram o alicerce que sustentou meus sonhos e a motivação para superar desafios.

Às minhas irmãs, Karla Danielly e Kissia Danielly, que sempre estiveram ao meu lado, compartilhando sorrisos, conselhos e momentos de leveza em meio às adversidades. Cada palavra de incentivo, cada gesto de carinho e compreensão foram essenciais para que eu encontrasse forças para continuar e lutar pelos meus ideais.

Aos meus amigos, que fizeram desta caminhada uma experiência única e repleta de afeto. Agradeço por cada conversa, cada risada e pelo apoio inestimável nos momentos de cansaço e dúvida. Vocês contribuíram para que os dias mais difíceis se transformassem em lições e para que os momentos de celebração se tornassem inesquecíveis.

Aos professores do mestrado, cuja dedicação e compromisso com o ensino foram fontes de inspiração. Agradeço pelo compartilhamento de conhecimentos, pelo incentivo ao pensamento crítico e pela paciência em esclarecer dúvidas, contribuindo de maneira significativa para meu desenvolvimento acadêmico e pessoal.

Aos colegas do mestrado, que tornaram o ambiente de aprendizado ainda mais enriquecedor. Juntos, enfrentamos desafios, debatemos ideias e trocamos experiências que ampliaram minha visão sobre a fisioterapia e a vida. Cada interação e colaboração foram fundamentais para o crescimento coletivo e individual.

Ao meu orientador, José Heriston, cuja orientação foi crucial para a realização desta dissertação. Sua paciência, expertise e incentivo foram verdadeiros faróis que guiaram meu percurso acadêmico, fazendo com que eu ultrapassasse limites e buscasse sempre a excelência. Sua confiança e apoio foram determinantes para a concretização deste trabalho.

Agradeço também a todos os colaboradores que, direta ou indiretamente, contribuíram para que esta pesquisa se transformasse em realidade. Cada gesto, palavra de encorajamento e crítica construtiva enriqueceu este percurso, tornando-o mais sólido e significativo.

Por fim, expresso minha sincera gratidão a todas as pessoas que, de alguma forma, fizeram parte desta jornada. Cada contribuição, por menor que pareça, ajudou a transformar desafios em conquistas e a tornar este trabalho uma celebração de aprendizado, dedicação e amor ao conhecimento.

## EPÍGRAFE

*Não há nada bom nem mau a não ser estas duas coisas: a sabedoria que é um bem e a ignorância que é um mal.*

*Platão.*

## RESUMO

**Introdução:** A insuficiência cardíaca é uma condição crônica associada a altos índices de morbidade e mortalidade, impactando significativamente a qualidade de vida das pessoas acometidas. A estimulação transcraniana por corrente contínua de alta definição (HD-tDCS) tem surgido como uma abordagem neuromodulatória promissora, com potencial influência sobre a função cardiovascular. No entanto, seus efeitos na insuficiência cardíaca ainda são pouco compreendidos. **Objetivo:** Avaliar os efeitos da HD-tDCS na função cardiovascular, percepção subjetiva de esforço e capacidade funcional de indivíduos com insuficiência cardíaca. **Métodos:** Foi realizado um ensaio clínico randomizado com indivíduos diagnosticados com insuficiência cardíaca classe funcional II e III segundo a New York Heart Association (NYHA). Os participantes foram submetidos a três sessões de HD-tDCS (estimulação, inibição e sham) de 20 minutos, com aplicação no córtex temporal e insular esquerdos e intensidade de 3 mA. Após cada sessão, foi realizado o teste de caminhada de seis minutos. As variáveis analisadas incluíram variabilidade da frequência cardíaca por meio de monitoramento por Holter, frequência cardíaca, distância percorrida no teste de caminhada de 6 minutos, percepção do esforço, pressão arterial e saturação parcial de oxigênio. Os dados foram analisados por meio do teste de Shapiro-Wilk e do teste de Friedman, frente a distribuição não normal dos dados. **Resultados:** Houve diferença na potência da alta frequência da variabilidade da frequência cardíaca no grupo de corrente catódica (55,90 Hz) em comparação aos grupos anódico (172 Hz) e sham (219 Hz) ( $p=0,003$ ). Além disso, o grupo catódico apresentou menor frequência cardíaca (85 bpm) em relação ao grupo anódico (92 bpm) e sham (91 bpm) ( $p=0,045$ ). As demais variáveis não apresentaram diferenças significativas entre os grupos. **Conclusão:** Os achados sugerem que a HD-tDCS pode influenciar a modulação autonômica, particularmente na alta frequência da variabilidade da frequência cardíaca e na resposta da frequência cardíaca ao esforço, com recuperação mais rápida após esforço físico. Embora não tenham sido observados efeitos significativos em outras variáveis fisiológicas, os resultados indicam um potencial terapêutico para a técnica na regulação autonômica na insuficiência cardíaca. Estudos adicionais são necessários para elucidar melhor os mecanismos subjacentes e otimizar os parâmetros de estimulação para futuras aplicações clínicas.

**Palavras-chave:** Desempenho Físico Funcional; Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua; Frequência Cardíaca; Insuficiência Cardíaca; Teste de Caminhada.

## ABSTRACT

**Introduction:** Heart failure is a chronic condition associated with high rates of morbidity and mortality, significantly impacting the quality of life of affected individuals. High-definition transcranial direct current stimulation (HD-tDCS) has emerged as a promising neuromodulatory approach with potential influence on cardiovascular function. However, its effects on heart failure are still poorly understood. **Objective:** To evaluate the effects of HD-tDCS on cardiovascular function, subjective perception of effort and functional capacity of individuals with heart failure. **Methods:** A randomized clinical trial was conducted with individuals diagnosed with heart failure functional class II and III according to the New York Heart Association (NYHA). Participants underwent three 20-minute sessions of HD-tDCS (stimulation, inhibition and sham) applied to the left temporal and insular cortex at an intensity of 3 mA. After each session, a six-minute walk test was performed. The variables analyzed included heart rate variability through Holter monitoring, heart rate, distance covered in the 6-minute walk test, perceived exertion, blood pressure and partial oxygen saturation. The data were analyzed using the Shapiro-Wilk test and the Friedman test, given the non-normal distribution of the data. **Results:** There was a difference in the power of high-frequency heart rate variability in the cathodal current group (55.90 Hz) compared to the anodal (172 Hz) and sham (219 Hz) groups ( $p=0.003$ ). In addition, the cathodal group had a lower heart rate (85 bpm) compared to the anodal (92 bpm) and sham (91 bpm) groups ( $p=0.045$ ). The other variables did not show significant differences between the groups. **Conclusion:** The findings suggest that HD-tDCS can influence autonomic modulation, particularly in high-frequency heart rate variability and in the heart rate response to exercise, with faster recovery after physical exertion. Although no significant effects were observed in other physiological variables, the results indicate a therapeutic potential for the technique in autonomic regulation in heart failure. Additional studies are needed to better elucidate the underlying mechanisms and optimize stimulation parameters for future clinical applications.

**Keywords:** Functional Physical Performance; Transcranial Direct Current Stimulation; Heart Rate; Heart Failure; Walking Test

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Protocolo experimental dividido em duas etapas: aplicação do HD-tDCS no córtex temporal esquerdo (intervenção) e teste de caminhada de seis minutos (pós-intervenção) .....	23
Figura 2 – A: Córtex temporal esquerdo em amarelo (superficial); B: córtex insular esquerdo em vermelho (após retirada do córtex temporal) .....	24

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados sociodemográficos e econômicos dos participantes atendidos no laboratório de Fisioterapia em Pesquisa Cardiorrespiratória, João Pessoa (2024) .....	26
Tabela 2 – Dados de composição corporal dos participantes atendidos no laboratório de Fisioterapia em Pesquisa Cardiorrespiratória, João Pessoa (2024) .....	29
Tabela 3 – Comparação intra e entre grupos para os desfechos de percepção subjetiva de esforço e distância percorrida no TC6 dos participantes atendidos no laboratório de Fisioterapia em Pesquisa Cardiorrespiratória, João Pessoa (2024) .....	31
Tabela 4 – Comparação intra e entre grupos para os desfechos da variabilidade da frequência cardíaca no domínio frequência dos participantes atendidos no laboratório de Fisioterapia em Pesquisa Cardiorrespiratória, João Pessoa (2024) .....	32
Tabela 5 – Comparação intra e entre grupos para os desfechos de frequência cardíaca, pressão arterial e saturação parcial de oxigênio dos participantes atendidos no laboratório de Fisioterapia em Pesquisa Cardiorrespiratória, João Pessoa (2024) .....	34

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ATS</b>	American Toracic Society
<b>CF</b>	Capacidade funcional
<b>CEP</b>	Comitê de ética e pesquisa
<b>DP</b>	Distância prevista
<b>FC</b>	Frequência cardíaca
<b>HD-tDCS</b>	Estimulação transcraniana por corrente contínua de alta definição
<b>HF</b>	Potência de alta frequência
<b>HULW</b>	Hospital universitário Lauro Wanderley
<b>IC</b>	Insuficiência cardíaca
<b>IECA</b>	Inibidores de enzima conversora de angiotensina
<b>IMC</b>	Índice de massa corpórea
<b>LABEN</b>	Laboratório de estudos em envelhecimento e neurociência
<b>LAFIPCARE</b>	Laboratório de fisioterapia em pesquisa cardiorrespiratória
<b>LF</b>	Potência de baixa frequência
<b>LF/HF</b>	Relação baixa frequência/alta frequência
<b>LVAD</b>	Dispositivo de assistência ventricular esquerda
<b>MMII</b>	Membros inferiores
<b>NYHA</b>	New York Heart Association
<b>PA</b>	Pressão arterial
<b>PAS</b>	Pressão arterial sistólica
<b>PAD</b>	Pressão arterial diastólica
<b>SNP</b>	Sistema nervoso parassimpático
<b>SNS</b>	Sistema nervoso simpático
<b>SPO<sub>2</sub></b>	Saturação parcial de oxigênio
<b>SPSS</b>	Statistical package for the social sciences
<b>TCLE</b>	Termo de consentimento livre e esclarecido
<b>TC6</b>	Teste de caminhada de 6 minutos
<b>UFPB</b>	Universidade Federal da Paraíba
<b>VFC</b>	Variabilidade da frequência cardíaca

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>OBJETIVOS</b> .....	14
Objetivo geral .....	14
Objetivos específicos .....	14
<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	14
Insuficiência cardíaca .....	14
Função cardiovascular na IC e sua implicação sistêmica .....	17
Neuromodulação não invasiva por HD-tDCS .....	19
<b>PERCURSO METODOLÓGICO</b> .....	20
Tipo de estudo .....	20
Local e duração do estudo .....	20
População e amostra .....	20
Critérios de inclusão .....	21
Critérios de exclusão .....	21
Considerações éticas e registro do estudo .....	21
Instrumentos de coleta e protocolo experimental .....	21
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	25
<b>CONCLUSÕES</b> .....	35
<b>PRODUTOS E ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O PERÍODO DO MESTRADO E IMPACTO SOCIAL, INOVAÇÃO E TECNOLOGIA DA PESQUISA</b> .....	36
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	37
<b>APÊNDICES</b> .....	42
Apêndice A .....	43
Apêndice B .....	45
<b>ANEXOS</b> .....	46
Anexo A .....	47

## INTRODUÇÃO

A insuficiência cardíaca (IC) é uma condição clínica complexa e progressiva que se caracteriza pela incapacidade do coração de bombear sangue de forma adequada para suprir as necessidades metabólicas dos tecidos do corpo. Essa disfunção pode resultar de uma variedade de doenças cardíacas subjacentes, como doença arterial coronariana, hipertensão arterial, miocardiopatias e valvopatias. Clinicamente, a IC se manifesta por meio de uma série de sintomas debilitantes, incluindo dispneia, fadiga extrema, edema periférico e intolerância ao exercício, que juntos comprometem severamente a qualidade de vida dos indivíduos portadores da doença (Plentz *et al.*, 2012).

Além disso, a IC é uma das principais causas de hospitalização em pessoas com mais de 65 anos e está associada a altas taxas de morbidade e mortalidade. Estima-se que a patologia afete, aproximadamente, 26 milhões de pessoas em todo o mundo, com uma prevalência crescente devido ao envelhecimento populacional e ao aumento da incidência de fatores de risco cardiovasculares (Severino *et al.*, 2020). O impacto econômico e social é significativo, resultando em elevados custos de cuidados de saúde devido a frequentes internações hospitalares, necessidade de tratamentos médicos contínuos e perda de produtividade, além de causar um grande sofrimento as pessoas e suas famílias (Cestari *et al.*, 2022).

Apesar dos avanços significativos no tratamento da insuficiência cardíaca nas últimas décadas, as opções terapêuticas atuais ainda apresentam limitações consideráveis. A farmacoterapia, que inclui o uso de inibidores da enzima conversora de angiotensina (IECA), betabloqueadores, diuréticos e antagonistas dos receptores de mineralocorticóides, tem demonstrado eficácia na redução da mortalidade e na melhora dos sintomas. No entanto, muitos indivíduos continuam a apresentar sintomas debilitantes e frequentes hospitalizações, além de efeitos colaterais adversos associados ao uso prolongado de medicamentos. Os dispositivos de assistência ventricular, como os dispositivos de assistência ventricular esquerda (LVADs), representam uma opção valiosa para o manejo da IC avançada, mas são invasivos, caros e associados a complicações significativas, incluindo infecções e eventos tromboembólicos (Roger, 2021).

Nesse contexto, como apontado por Brunoni *et al.* (2011), a neuromodulação tem emergido como uma abordagem terapêutica inovadora e promissora. Este tratamento envolve a aplicação de estímulos elétricos a nervos específicos, como o nervo vago, com o objetivo de modular a atividade autonômica e, assim, melhorar a função cardíaca. Essa técnica, que envolve a aplicação de estímulos elétricos a nervos específicos, tem se mostrado uma intervenção

promissora na modulação da função cardiovascular, atua na modulação da atividade autonômica, que desempenha um papel crucial na regulação do sistema cardiovascular. O sistema nervoso autônomo é composto pelo sistema nervoso simpático, que aumenta a frequência cardíaca e a contratilidade, e pelo sistema nervoso parassimpático, que tem um efeito oposto, promovendo a redução da frequência cardíaca e a conservação de energia (Gu *et al.*, 2022).

Ao estimular nervos como o nervo vago, a técnica pode reduzir a ativação simpática excessiva, que é uma característica comum em pessoas com IC e está associada a uma piora da função cardíaca e a um aumento da mortalidade. A modulação vagal tem o potencial de aumentar a atividade parassimpática, restaurando o equilíbrio autonômico. Isso pode resultar em uma série de efeitos benéficos, incluindo a redução da frequência cardíaca, a melhoria da variabilidade da frequência cardíaca, que é um marcador de saúde cardíaca, e a diminuição da resistência vascular periférica. Essas mudanças fisiológicas podem contribuir para uma otimização da função hemodinâmica na insuficiência cardíaca. (Maudrich *et al.*, 2022).

Estudos preliminares e ensaios clínicos iniciais, como os de Angius *et al.* (2019), têm mostrado resultados encorajadores, indicando que esta terapêutica pode levar a melhorias significativas na função cardiovascular, como aumento da fração de ejeção, redução da frequência cardíaca e melhor controle da pressão arterial de indivíduos saudáveis.

Além disso, há evidências de que a neuromodulação pode melhorar a capacidade funcional e a qualidade de vida, reduzindo a sensação de dispneia e fadiga. Esses achados sugerem que este procedimento pode oferecer uma nova e eficaz alternativa terapêutica para pessoas com IC, complementando as abordagens tradicionais em casos específicos (Brunoni *et al.*, 2011).

Os estudos de Gu *et al.* (2022) ainda têm demonstrado que as terapêuticas utilizando este tipo de modulação podem melhorar a fração de ejeção do ventrículo esquerdo, reduzir a pressão arterial e melhorar o débito cardíaco. Além disso, a modulação autonômica pode ajudar a atenuar a resposta inflamatória e o estresse oxidativo, que são processos patológicos implicados na progressão da IC.

Essa intervenção também tem mostrado potencial em melhorar a qualidade de vida geral dos indivíduos submetidos a terapêutica, por reduzir a dispneia e a fadiga, sintomas que limitam significativamente a capacidade funcional e a qualidade de vida, a intervenção pode permitir uma maior participação em atividades diárias e melhorar o bem-estar geral (Wenhua *et al.*, 2024).

Em resumo, esta representa uma abordagem inovadora para a melhora da função cardiovascular, oferecendo uma nova forma de intervenção que vai além das terapias tradicionais. Ao modular a atividade autonômica e promover um equilíbrio mais saudável entre

os sistemas simpático e parassimpático, a terapêutica por modulação neuronal pode proporcionar melhorias significativas na função cardiovascular e na qualidade de vida (Wenhua *et al.*, 2024).

Dessa maneira, a justificativa deste estudo reside na escassez da literatura acerca do uso da neuromodulação por estimulação transcraniana por corrente contínua de alta definição (HD-tDCS) na função cardiovascular de pessoas com IC. Ao investigar os efeitos desta, essa pesquisa pode contribuir para a compreensão dos mecanismos subjacentes à intervenção e potencialmente oferecer uma nova opção terapêutica para melhorar a qualidade de vida e os desfechos clínicos dos indivíduos com a doença.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo geral**

Avaliar os efeitos da HD-tDCS na função cardiovascular, percepção subjetiva de esforço e capacidade funcional de indivíduos com insuficiência cardíaca.

### **Objetivos específicos**

- Traçar perfil sociodemográfico e clínico da amostra;
- Analisar efeitos da HD-tDCS na distância percorrida e sinais vitais dessas pessoas após o teste de caminhada de seis minutos;
- Analisar os efeitos da HD-tDCS na variabilidade da frequência cardíaca frente ao teste de caminhada de seis minutos;
- Avaliar os efeitos da HD-tDCS na percepção de esforço e dispneia antes e após o teste de caminhada de seis minutos.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

### **Insuficiência cardíaca**

A IC é uma síndrome clínica complexa caracterizada pela incapacidade do coração em bombear sangue adequadamente para atender às necessidades metabólicas do organismo, ou por ser capaz de fazê-lo apenas com pressões de enchimento elevadas. Essa condição resulta comumente de distúrbios funcionais ou estruturais que comprometem a sístole e diástole do músculo cardíaco, especialmente dos ventrículos. Entre as causas comuns estão a doença arterial

coronariana, hipertensão arterial, cardiomiopatias e valvopatias (Bocchi *et al.*, 2009; Dharmarajan; Rich, 2017).

Entende-se que a doença representa um problema de saúde pública significativo devido à sua elevada prevalência, morbidade e mortalidade, bem como considerável impacto econômico e social associado ao seu manejo. Globalmente, estima-se que mais de 26 milhões de pessoas vivam com IC, um número que continua a crescer com o envelhecimento da população e o aumento da incidência de fatores de risco como hipertensão arterial, diabetes mellitus e doenças cardiovasculares (Severino *et al.*, 2020).

Como apontado por Severino *et al.* (2020), a patologia é uma das principais causas de hospitalização entre os idosos, resultando em frequentes readmissões hospitalares e prolongamento do tempo de internação. Esse cenário gera uma carga substancial sobre os sistemas de saúde, exacerbando os custos médicos diretos, incluindo hospitalizações, consultas ambulatoriais, medicamentos e cuidados contínuos.

A fisiopatologia da insuficiência cardíaca envolve uma série de mecanismos compensatórios que inicialmente visam manter a função cardíaca, mas que, com o decurso do tempo, podem agravar a disfunção cardíaca. Entre esses mecanismos estão a ativação neuro-hormonal, com destaque para o sistema renina-angiotensina-aldosterona e o sistema nervoso autônomo, que aumentam a retenção de sódio e água, ademais a vasoconstrição (Ulate-Montero; Ulate-Campos, 2008).

As alterações no sistema nervoso autônomo, especificamente do sistema nervoso simpático e parassimpático, desempenham um papel central na progressão da doença e na piora dos sintomas. A disfunção cardíaca leva a uma ativação compensatória excessiva do sistema nervoso simpático (SNS), que, apesar de inicialmente benéfica para manter o débito cardíaco e a perfusão tecidual, se torna prejudicial a longo prazo. Esse estado de hiperatividade simpática resulta em liberação aumentada de norepinefrina, que provoca vasoconstrição periférica, aumento da frequência cardíaca, e da contratilidade miocárdica (Pippi *et al.*, 2022).

Ainda segundo Pippi *et al.* (2022), como efeitos deletérios consequentes, a elevação persistente da pós-carga e da frequência cardíaca (FC) contribui para a sobrecarga de trabalho do miocárdio, levando a hipertrofia ventricular, remodelação miocárdica e piora da função diastólica e sistólica. Adicionalmente, níveis elevados de catecolaminas são tóxicos para os miócitos, promovendo apoptose e fibrose miocárdica.

Por outro lado, como pontuado por Barreto e Ramires (2007), o sistema nervoso parassimpático (SNP), que exerce efeitos cardioprotetores por meio do nervo vago, está frequentemente deprimido na IC. A diminuição da atividade parassimpática resulta na perda de

modulação vagal sobre o coração, contribuindo para a predominância simpática e para a vulnerabilidade a arritmias, predispondo o risco de morte súbita cardíaca. Portanto, a disfunção autonômica nesta doença, caracterizada por uma hiperatividade simpática e uma atividade parassimpática reduzida, não só exacerba a progressão da doença como também piora a qualidade de vida e os desfechos clínicos das pessoas acometidas.

Os sintomas da patologia são diversos e refletem sua complexidade, variando conforme a gravidade e a forma predominante da disfunção cardíaca. A dispneia é um dos sintomas mais comuns e resulta da congestão pulmonar devido à elevação das pressões de enchimento do ventrículo esquerdo, que se traduz em acúmulo de líquido nos pulmões (Adorno *et al.*, 2024).

A dispneia pode se manifestar inicialmente apenas durante o esforço físico, mas, à medida que a doença progride, pode ocorrer em repouso e ser particularmente noturna (dispneia paroxística noturna). Outro sintoma prevalente é a fadiga, decorrente da redução do débito cardíaco e da perfusão inadequada dos tecidos periféricos, limitando a capacidade funcional e a realização de atividades diárias (Cavalcante *et al.*, 2024).

Como apontado por Freitas e Cirino (2017), os sinais físicos da IC incluem edema periférico, ascite e hepatomegalia, que indicam congestão venosa sistêmica. O edema geralmente começa em extremidades e progride em direção às áreas mais dependentes. A turgência jugular é outro sinal clínico importante, refletindo a elevação da pressão venosa central. A ausculta cardíaca pode revelar a presença de terceira ou quarta bulhas cardíacas, sons anormais que indicam enchimento ventricular comprometido e aumento das pressões intracavitárias. Já a pulmonar revela creptos e sibilos, sugerindo congestão pulmonar e possível edema pulmonar. Em estágios avançados, cianose e sinais de má perfusão periférica podem se desenvolver, refletindo a incapacidade do coração de fornecer oxigênio adequadamente aos tecidos (Adorno *et al.*, 2024).

De acordo com Barreto e Ramires (2007), são observadas complexas alterações nutricionais em indivíduos com IC, as quais são frequentemente caracterizadas pela coexistência de desnutrição generalizada e diminuição de massa magra, uma condição conhecida como caquexia sarcopênica. Apesar de apresentarem elevados índices de colesterol e triglicérides, essas pessoas sofrem de perda de massa muscular e desnutrição proteico-energética. Uma dieta inadequada, pode contribuir para a dislipidemia e piora o estado nutricional.

Além disso, a inflamação crônica e as alterações metabólicas típicas observadas promovem a quebra de proteínas musculares e redistribuição de gordura, agravando a perda de massa magra. A retenção de líquidos, comum na doença, pode mascarar a perda de peso e massa muscular, dificultando a avaliação nutricional precisa (Feitosa; Feitosa Filho; Carvalho, 2022).

As alterações estruturais e funcionais observadas comprometem diretamente a função cardiovascular, levando a adaptações hemodinâmicas e neuro-humorais que influenciam diversos sistemas do organismo. Essas mudanças afetam não apenas a capacidade do coração de bombear sangue de maneira eficiente, mas também provocam repercussões em sistemas como respiratório, renal e musculoesquelético, contribuindo para a progressão da doença e a piora dos sintomas (Cavalcante *et al.*, 2024).

### **Função cardiovascular na IC e sua implicação sistêmica**

Entende-se por função cardiovascular a capacidade do músculo cardíaco e vasos sanguíneos em suprir adequadamente as demandas metabólicas do organismo bombeando sangue de forma eficaz para os órgãos e tecidos do corpo humano. Esse conceito, embora bem elucidado, envolve a complexa integridade das estruturas cardíacas e a preservação de sua função (Branco *et al.*, 2018).

Como característico da IC, o declínio da função cardiovascular se correlaciona a uma série de alterações morfológicas e funcionais, tais quais a redução do débito cardíaco e perfusão periférica, que promovem uma redução do fluxo sanguíneo que chega ao músculo e da sua capacidade de captação e extração de oxigênio e nutrientes. Dessa forma, o mesmo, em estado de desnutrição e sem o oxigênio necessário ao seu processo de recuperação pós contração, sofre com hipóxia e acúmulo de metabólitos tóxicos, como o ácido lático, culminando em fadiga muscular e redução crônica da força de contração muscular (Iocca *et al.*, 2023).

Nesse contexto, ainda se observa a mudança do metabolismo muscular aeróbico para o anaeróbico devido a hipóxia, redução da capacidade oxidativa e diminuição das reservas de fosfocreatina e glicogênio. Essas alterações também contribuem para a redução da eficiência energética dos músculos e de sua capacidade de gerar força (Silva *et al.*, 2019).

Como apontado por Nogueira *et al.* (2017), a redução da força muscular, associada as alterações nutricionais e a redução da própria função cardiovascular contribuem para a redução da capacidade funcional destes indivíduos. Sobre essa perspectiva, a capacidade funcional (CF) pode ser definida como a habilidade de um indivíduo realizar atividades físicas e tarefas diárias de forma eficiente e independente. Essa capacidade envolve a integração de vários sistemas do corpo, incluindo o cardiovascular, respiratório, musculoesquelético e neuromuscular, permitindo que a pessoa mantenha um nível adequado de desempenho físico (Silva *et al.*, 2019).

Isto posto, com a redução da capacidade funcional em indivíduos com IC, a percepção de esforço frente ao exercício físico, definida como a sensação subjetiva de quão difícil é realizar

determinado esforço físico, tende a ser elevada mesmo para atividades leves. A má perfusão tecidual e a acumulação de metabólitos aumentam a sensação de fadiga e cansaço durante o exercício, elevando a percepção de esforço. A ativação neuro-hormonal crônica também pode aumentar a sensação de esforço, já que os níveis elevados de catecolaminas podem exacerbar a resposta ao estresse físico (Nogueira *et al.*, 2017).

A combinação de alta percepção de esforço e dispneia leva muitas pessoas com IC a evitar atividades físicas, resultando em descondicionamento físico. O descondicionamento físico contribui para uma maior redução capacidade funcional, criando um ciclo vicioso onde a inatividade leva a uma maior perda de força muscular e capacidade aeróbica. Assim, a capacidade funcional na IC está diretamente ligada à percepção aumentada de esforço e à dispneia, refletindo o grau de comprometimento cardíaco e as limitações físicas resultantes da disfunção cardiovascular característica da doença (Silva *et al.*, 2019).

Achados de estudos da literatura recente referente ao tema revelam que as alterações na capacidade funcional e na percepção de esforço em indivíduos com a doença estão intimamente ligadas às alterações na variabilidade da frequência cardíaca (VFC). Esta refere-se à variação no intervalo entre batimentos cardíacos consecutivos e é um indicador da função autonômica do coração, refletindo o equilíbrio entre os sistemas nervoso simpático e parassimpático (Kurogi; Butcher; Salvetti, 2020).

Na IC, a VFC é frequentemente reduzida devido à predominância do tônus simpático e à supressão do tônus parassimpático. Essa disfunção autonômica é um marcador de pior prognóstico e está associada ao aumento da mortalidade. A redução da VFC indica uma menor capacidade do coração de se adaptar às mudanças fisiológicas e ao estresse, exacerbando a resposta ao exercício e aumentando a percepção de esforço (Teixeira *et al.*, 2017).

Ainda de acordo com os mesmos autores, a disfunção autonômica e a consequente redução da VFC na IC contribuem para a instabilidade hemodinâmica, que pode levar a arritmias e piora da função cardíaca. A menor VFC reflete uma incapacidade do coração em modular adequadamente a frequência cardíaca em resposta às demandas metabólicas, resultando em uma resposta cardiovascular inadequada durante o exercício físico. Essa resposta inadequada pode aumentar a sensação de dispneia e fadiga, reforçando o ciclo de descondicionamento físico observado nessas pessoas.

Além disso, a variabilidade reduzida da frequência cardíaca está associada a uma menor capacidade de recuperação após o exercício, prolongando o tempo de recuperação da frequência cardíaca e aumentando a fadiga muscular, com declínio da função cardiovascular. Isso pode levar a uma maior aversão ao exercício e à atividade física, agravando ainda mais o

descondicionamento físico e a redução da capacidade funcional, impossibilitando a realização de atividades básicas de vida diária, impactando diretamente a qualidade de vida dos indivíduos (Kurogi; Butcher; Salvetti, 2020).

Dessa forma, compreende-se como necessidade o aprimoramento do desempenho físico, como componente multifatorial, resultado da integração e integridade dos sistemas neurológico, cardiorrespiratório, vascular e musculoesquelético (Villacorta, 2023).

### **Neuromodulação não invasiva por HD-tDCS**

Nesse sentido, a HD-tDCS (*High-definition transcranial direct current stimulation*), ou estimulação transcraniana por corrente contínua de alta definição, é uma técnica de neuromodulação não invasiva que envolve administrar uma corrente elétrica de baixa intensidade (geralmente entre 1 a 3 mA) através do cérebro, em pontos específicos a depender da região cerebral que se deseja estimular. Esta técnica emerge como uma intervenção inovadora com comprovada eficácia na melhora do desempenho físico de atletas de ciclismo, maratonistas, diabéticos e pessoas com síndromes respiratórias pós COVID-19. A corrente elétrica altera a excitabilidade neuronal, de forma que, dependendo da polaridade da corrente (anódica ou catódica), a modulação pode aumentar (anódica) ou diminuir (catódica) a atividade neuronal na área alvo (Nitsche; Paulus, 2000).

Os estudos da literatura também sustentam a eficácia da neuromodulação no tratamento de pessoas que sofreram acidente vascular cerebral ou outro tipo de lesão cerebral na melhoria das funções motoras e cognitivas, ainda auxilia no tratamento para depressão, ansiedade, esquizofrenia e transtorno bipolar, com o objetivo de modular as redes cerebrais disfuncionais associadas a esses transtornos, tendo bons resultados no aprimoramento da memória, atenção e aprendizado e na redução da percepção de dor em condições crônicas, como a fibromialgia e dores neuropáticas (Parlikar *et al.*, 2021; DaSilva *et al.*, 2022).

Esta técnica não invasiva de modulação cerebral utiliza múltiplos eletrodos para aplicar correntes elétricas de baixa intensidade de maneira precisa e focalizada, modulando a atividade cerebral em áreas específicas. Estudos preliminares indicam que a HD-tDCS pode influenciar positivamente a plasticidade neural e a integração entre os sistemas neurológico, cardiorrespiratório, vascular e musculoesquelético, favorecendo a recuperação e o aprimoramento da capacidade funcional dos indivíduos a ela submetidos (Morya, 2019).

A literatura acerca da utilização da HD-tDCS no tratamento e reabilitação de indivíduos com IC ainda é escassa, mas ao melhorar a coordenação motora e reduzir a percepção de fadiga e dispneia, a HD-tDCS pode contribuir significativamente para a realização de atividades diárias, promovendo uma melhora na qualidade de vida em pessoas saudáveis, atletas ou com algumas patologias específicas (Wenhua *et al.*, 2024).

## **PERCURSO METODOLÓGICO**

### **Tipo de estudo**

A presente pesquisa tratou-se de um ensaio clínico randomizado e controlado duplo cego, do tipo crossover, no qual todos os participantes receberam o mesmo tratamento e sua condição foi verificada antes do início e após vários momentos do tratamento (Medronho, 2005).

### **Local e duração do estudo**

O estudo foi desenvolvido no Laboratório de Fisioterapia em Pesquisa Cardiorrespiratória (LAFIPCARE) em parceria com Laboratório de Estudos em Envelhecimento e Neurociências (LABEN), ambos situados na Universidade Federal da Paraíba no período de 2023 a 2024.

### **População e amostra**

A população foi composta por indivíduos portadores de insuficiência cardíaca atendidos no ambulatório de cardiologia do Hospital Universitário Lauro Wanderley (HULW), situado na Universidade Federal da Paraíba (UFPB), e a amostra, do tipo não probabilística, contou com indivíduos de ambos os sexos com idade igual ou superior a 18 anos, classificados na classe funcional II e III segundo a escala New York Heart Association (NYHA), pois entende-se que os mesmos apresentam sintomas mais claros da doença em comparação aqueles classificados em nível I, entretanto ainda mantêm a capacidade de realizar esforço físico, mesmo que prejudicada, ao contrário daqueles classificados em nível IV (Comitê Coordenador da Diretriz de Insuficiência Cardíaca, 2018).

## **Critérios de inclusão**

- Ter diagnóstico de insuficiência cardíaca com classe funcional II e III segundo NYHA;
- Possuir 18 anos ou mais;
- Ausência de doenças neurológicas ou pulmonares;
- Não possuir alterações cognitivas ou físicas que impeçam a execução de comandos;
- Em caso de pessoas do sexo feminino, não estar grávida durante período de coleta;
- Ausência de doenças epiléticas, histórico de convulsões ou neoplasias;
- Não possuir implantes metálicos na região da cabeça.

## **Critérios de exclusão**

- Desistência durante o estudo ou abandono do protocolo;
- Eventos adversos relacionados à neuromodulação;
- Alterações hemodinâmicas que impeçam a continuidade da intervenção;
- Mudança da terapêutica medicamentosa durante período de coleta de dados.

## **Considerações éticas e registro do estudo**

Todos os indivíduos receberam informações detalhadas sobre os objetivos, riscos e benefícios do estudo e foram orientados a assinar o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) (Apêndice A). Os princípios éticos estabelecidos na Resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde, que regulamenta pesquisas envolvendo seres humanos, foram estritamente seguidos, garantindo a preservação da integridade e anonimato de todos os participantes, bem como o cuidado com seu bem-estar e saúde. O projeto de pesquisa passou por avaliação pelo Comitê de Ética e Pesquisa (CEP) do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal da Paraíba e só foi iniciada a coleta de dados após a aprovação, sob o número CAAE 64878922.2.0000.5188.

## **Instrumentos de coleta e protocolo experimental**

Foi empregado um formulário como ferramenta para a coleta de dados, contendo informações sociodemográficas, como nome, sexo, idade, estado civil, grau de instrução, vínculo empregatício, medicamentos em uso e resultado do último eletrocardiograma (Apêndice B).

Para a análise da composição corporal, utilizou-se balança de bioimpedância **InBody 120** (Ottoni, Rio de Janeiro, Brasil). Este equipamento emprega equações estabelecidas pelos

fabricantes para calcular os percentuais de gordura e massa magra. Ao aplicar uma corrente elétrica de baixa frequência pelo corpo do indivíduo, é possível estimar esses valores pela variação na condutibilidade elétrica dos tecidos corporais. Antes da avaliação, o participante foi orientado a remover quaisquer acessórios metálicos ou que pudessem interferir significativamente no seu peso e a subir na balança InBody vestindo roupas leves e sem calçados (Eickemberg *et al.*, 2012).

Durante a avaliação, o participante foi instruído a posicionar os pés e as mãos nos eletrodos do aparelho e permanecer imóvel até o término da análise (Eickemberg *et al.*, 2012). Os dados fornecidos pela balança incluíram peso, altura, IMC, percentual de massa muscular e de gordura. De acordo com essa avaliação, considera-se o peso ideal aquele em que o IMC está entre 18,5 e 24,9 (ABESO, 2016).

Após o momento de avaliação inicial, para garantir o cegamento da pesquisa e minimizar vieses, a aleatorização dos participantes foi realizada por um dos pesquisadores antes do início do protocolo desenvolvido para o estudo. Este procedimento assegurou que tanto os participantes quanto o pesquisador responsável pela aplicação dos testes funcionais e avaliação não soubessem a que tipo de estimulação o voluntário seria submetido em cada sessão. A aleatorização foi realizada utilizando o método de números aleatórios sorteados ao acaso, assegurando que a distribuição das sessões fosse completamente aleatória e balanceada entre cada grupo.

Em seguida os participantes foram submetidos ao protocolo experimental, o qual consiste na aplicação de 3 sessões de neuromodulação (estimulação, inibição e Sham), cada sessão ocorrendo uma vez por semana, durante vinte minutos com intensidade de três miliamperes no córtex temporal esquerdo usando o dispositivo **HD-tDCS 4x1**, modelo **tDCS 1x1** (Soterix Medical Inc., Woodbridge, EUA).

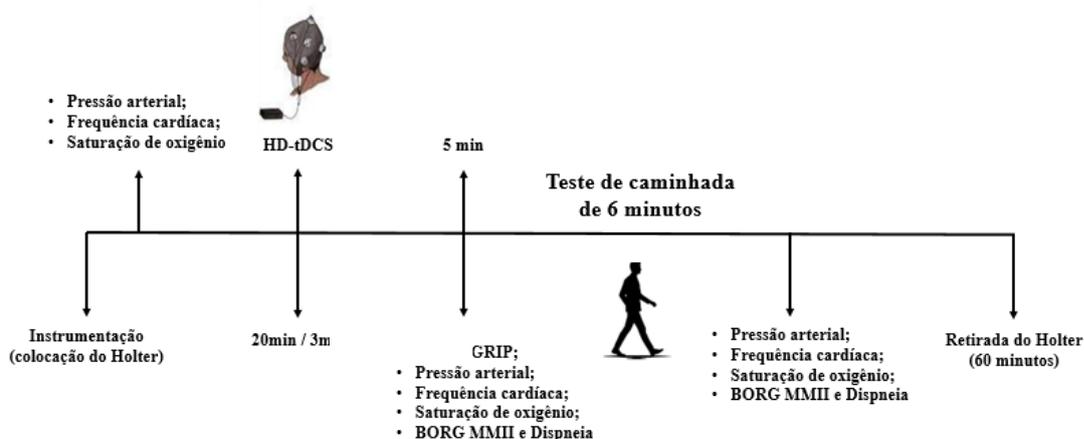
As sessões incluíram: (1) uma sessão de estimulação (anódica), (2) uma sessão de inibição (catódica) e (3) uma sessão sham (placebo). A ordem das sessões foi randomizada para cada componente do estudo, garantindo que nem os participantes nem o pesquisador responsável soubessem qual tipo de estimulação foi administrada em cada sessão. Esta abordagem de duplo-cego foi essencial para manter a integridade dos dados e a validade dos resultados.

Logo, ao iniciarem o protocolo, os indivíduos foram inicialmente instrumentados com o aparelho de Holter **Cardios Seven**, fabricado pela empresa **Cardios** (São Paulo, Brasil) de 4 canais, que consiste em um dispositivo portátil utilizado para monitorar a atividade elétrica do coração em períodos de curta, média ou longa duração. Sendo assim, o eletrocardiograma (ECG), aplicado por meio do aparelho na derivação DII bipolar, foi utilizado para coletar o sinal elétrico do coração, a partir de três eletrodos colocados no tórax do indivíduo, após assepsia e tricotomia.

As séries temporais do intervalo cardíaco foram obtidas pelo software do próprio HOLTER com base na variabilidade da frequência cardíaca no domínio da frequência.

Na análise da VFC no domínio de frequência foram utilizadas as variações da frequência cardíaca nas bandas de Baixa Frequência (BF) (0.03–0.15 Hz), as quais têm sido associadas com a modulação simpática e parassimpática e as bandas de Alta Frequência (AF) (0.15–0.40 Hz), associadas à modulação parassimpática. Além dos componentes absolutos e normalizados das bandas de BF e AF, o balanço simpato-vagal ou autonômico foi obtido, a partir da razão entre as bandas de AF e BF (Camm *et al.*, 1996).

**Figura 1:** Protocolo experimental dividido em duas etapas: aplicação do HD-tDCS no córtex temporal esquerdo (intervenção) e teste de caminhada de seis minutos (pós-intervenção).

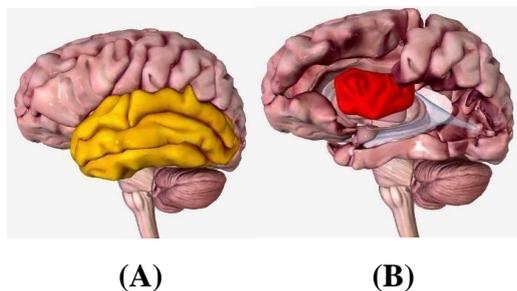


**Fonte:** Elaborado pelo autor (2025).

A instrumentação do Holter se deu com a pré programação do aparelho de acordo com os dados coletados na avaliação física do participante, seguindo-se da colocação e posicionamento dos eletrodos conforme orientações do fabricante. Anteriormente a instrumentação do HD-tDCS, foram verificados os sinais vitais de saturação parcial de oxigênio, pressão arterial e frequência cardíaca iniciais. Em seguida os eletrodos do aparelho de neuromodulação foram posicionados sobre o córtex temporal esquerdo, afim de estimular esta região e também atingir a região do córtex insular esquerdo (localizada logo abaixo).

O córtex insular esquerdo desempenha um importante papel na modulação da variabilidade da frequência cardíaca com a regulação simpato-vagal, atuando também na dinâmica da pressão arterial, com ajuste fino do tônus vascular em resposta a mudanças posturais (como ao levantar-se rapidamente) e a outras demandas fisiológicas (Oppenheimer; Cechetto, 2011).

**Figura 2:** A: Córtex temporal esquerdo em amarelo (superficial); B: córtex insular esquerdo em vermelho (após retirada do córtex temporal).



**Fonte:** Adaptado da **Plataforma BioDigital** (BioDigital Inc., 2023).

Após a instrumentação do aparelho de HD-tDCS, iniciou-se a sessão de neuromodulação com 20 minutos de duração e intensidade de 3 miliampères e corrente programada de acordo com a aleatorização realizada na fase inicial do estudo. Ao fim do período de modulação neural, os sinais vitais como frequência cardíaca, saturação de oxigênio (SpO<sub>2</sub>), pressão arterial (PA), percepção de esforço por meio da escala de Borg (dispnéia e fadiga de membros inferiores (MMII) foram avaliados.

Ainda foi utilizado um formulário (ANEXO A) para a aplicação do teste de caminhada de 6 minutos (TC6), que, conforme a *American Thoracic Society Statement* (2002), permite avaliar a capacidade funcional cardiorrespiratória durante o exercício. Para realizar o TC6, foi demarcado um corredor plano de 30 metros a ser percorrido pelos participantes, sendo explicado a eles o objetivo e desenvolvimento do teste, além disso, foram seguidas as diretrizes contidas na ATS.

A equação utilizada para calcular a distância prevista para cada participante foi a proposta por Britto *et al.* (2013). Para homens, a distância prevista (DP) foi calculada com a fórmula:  $DP = 890,46 - (6,11 \times \text{idade em anos}) + (0,0345 \times \text{idade}^2 \text{ em anos}) + (48,87 \times 1) - (4,87 \times \text{IMC})$ . Para mulheres, a fórmula utilizada foi:  $DP = 890,46 - (6,11 \times \text{idade em anos}) + (0,0345 \times \text{idade}^2 \text{ em anos}) + (48,87 \times 0) - (4,87 \times \text{IMC})$ .

Ao fim do TC6, a distância percorrida e todos os sinais vitais como FC, PA, SpO<sub>2</sub> e escala de percepção de esforço foram verificados novamente, e o participante iniciou o momento de repouso. A finalização do exame de Holter e retirada do aparelho se deu, no mínimo, após uma hora do início do exame, para evitar perda de informações pertinentes aos resultados obtidos, conforme orientações fornecidas pelo fabricante.

O desenho das análises estatísticas está fundamentado em estudos prévios da literatura referentes a ensaios clínicos randomizados e placebo-controlados utilizando neuromodulação não-invasiva (Brunoni et al., 2011). Foi empregada a análise da intenção de tratar, com o método da última observação realizada (*last observation carried forward*) para indivíduos que iniciaram o tratamento e receberam pelo menos uma sessão. Foi utilizado como nível de significância  $P < 0.05$ .

Para análise dos dados de características clínicas e sociodemográficas, bem como os desfechos primários e secundários de cada grupo na linha de base (Sham) foi utilizada a estatística descritiva, com cálculo de média e desvio padrão para dados numéricos e frequência ou proporção para os dados nominais.

Após a análise descritiva de caracterização da amostra, a normalidade dos dados referentes aos desfechos dos efeitos da HD-tDCS na distância percorrida e sinais vitais, na variabilidade da frequência cardíaca frente, na percepção de esforço e dispneia foram verificados pelo teste de Shapiro-Wilk, que indicou uma distribuição não normal das variáveis. Diante disso, para comparar as três formas de tratamento na mesma amostra, utilizou-se o teste de Friedman, uma alternativa não paramétrica à ANOVA para medidas repetidas.

Quando identificado um resultado significativo, realizou-se comparações pareadas entre os tratamentos por meio do teste de Wilcoxon, aplicando a correção de Bonferroni para ajustar o nível de significância e minimizar o risco de erro do tipo I. Todas as análises foram conduzidas no software **IBM SPSS Statistics**, versão 27.0, considerando um intervalo de confiança de 95%. Os dados obtidos foram dispostos em tabela para melhor visualização

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O estudo contou com a participação de 24 indivíduos com média de idade de  $53,46 \pm 10,92$  anos, sendo a idade mínima de 31 anos e a máxima de 70 anos, com predominância de 62,5% (n=15) do sexo masculino. No tocante a cor autorreferida, 50% (n=12) se autodeclararam pardos e, quanto ao grau de instrução, 29,17% (n=7) indicaram possuir ensino fundamental incompleto, enquanto 29,17% (n=7) possuíam ensino médio completo. Com relação ao estado civil e ocupação profissional, respectivamente, 54,17% (n=13) eram casados no momento do estudo e 50% (n=12) se encontravam desempregados por motivo de doença (Tabela 1).

**Tabela 1** – Dados sociodemográficos e econômicos dos participantes atendidos no laboratório de Fisioterapia em Pesquisa Cardiorrespiratória, João Pessoa (2024).

Variável	N	%
<b>Sexo</b>		
Feminino	9	37,5
Masculino	15	62,5
<b>Cor autorreferida</b>		
Branca	9	37,5
Parda	12	50
Negra	3	12,5
<b>Grau de instrução</b>		
Fundamental incompleto	7	29,17
Fundamental completo	2	8,33
Médio incompleto	1	4,17
Médio completo	7	29,17
Superior incompleto	2	8,33
Superior completo	5	20,83
<b>Estado civil</b>		
Solteiro	1	4.17
Casado	13	54.17
Separado	2	8.33
Divorciado	5	20.83
Viúvo	1	4.17
Coabitação	2	8.33
<b>Ocupação</b>		
Assalariado	5	20,83
Aposentado	7	29,17
Desempregado	12	50

**Fonte:** Dados da pesquisa (2024).

Com relação à faixa etária observada entre os indivíduos participantes desta pesquisa, a média de idade corrobora com os estudos de Porto *et al.* (2023), que objetivaram avaliar os aspectos sociodemográficos e clínicos de indivíduos com insuficiência cardíaca e indicaram a população acima dos 50 anos como sendo mais acometida pela insuficiência cardíaca, o que correlaciona o envelhecimento populacional com o desenvolvimento da insuficiência cardíaca.

O mesmo estudo, assim como esta pesquisa, ainda aponta a predominância de casos da doença na população de sexo masculino, o que pode se associar tanto aos hábitos alimentares e estilo de vida da população brasileira, como também a menor incidência de IC em pessoas do sexo feminino. Isso pode se dar pelo efeito protetor cardiovascular de hormônios femininos como progesterona, de forma que em geral, mulheres vem apresentar doenças cardiovasculares em idades mais avançadas em comparação com os homens (Hossain; Dulal; Faysal, 2024).

Os dados obtidos nessa pesquisa corroboram com as conclusões de Oliveira e colaboradores (2021), ao evidenciar que a IC apresenta maior incidência entre indivíduos que se autodeclaram pardos. Esse achado, ainda de acordo com os autores, pode estar relacionado a aspectos genéticos e epigenéticos que também podem contribuir para uma maior suscetibilidade ao surgimento da doença nesta população, embora os fatores ambientais e comportamentais tenham um peso considerável na sua progressão.

Da mesma forma, os achados do estudo reforçam a relação entre nível de instrução e incidência de IC, confirmando que indivíduos com maior escolaridade apresentam menor prevalência da doença. Isso pode ser explicado pelo maior acesso à informação sobre saúde, melhor compreensão e adesão a medidas preventivas, como alimentação equilibrada, prática regular de exercícios físicos e acompanhamento médico periódico. Além disso, pessoas com maior nível de instrução tendem a ter melhores condições socioeconômicas, permitindo maior acesso a recursos que favorecem a prevenção e o controle dos fatores de risco da IC, como uso adequado de medicações e realização de exames de rotina. Dessa forma, os resultados reafirmam a importância da educação e da equidade no acesso à saúde para reduzir a incidência da insuficiência cardíaca na população (Oliveira *et al.*, 2021).

Em relação à ocupação profissional dos voluntários da pesquisa, os dados corroboram com o estudo de Bragazzi *et al.* (2021), desenvolvido com o objetivo de avaliar o perfil sociodemográfico e clínico de indivíduos com IC, que indica que a maioria das pessoas que convive com a insuficiência cardíaca encontra-se desempregada, o que pode estar relacionado à limitação funcional imposta pela doença. A fadiga, dispnéia e intolerância ao esforço, sintomas característicos da IC, frequentemente dificultam ou impedem a realização de atividades laborais, levando à perda da autonomia financeira e ao aumento da dependência de programas assistenciais ou do suporte familiar. Esse ciclo reforça a necessidade de políticas públicas voltadas à reabilitação e reinserção desses indivíduos no mercado de trabalho.

Por outro lado, não foram encontrados dados consistentes na literatura que estabeleçam uma correlação direta entre a IC e o estado civil dos indivíduos acometidos pela doença. Embora algumas hipóteses sugiram que o suporte social e familiar possa influenciar na adesão ao tratamento e na qualidade de vida dos pacientes, os estudos disponíveis não apresentam evidências robustas que confirmem essa relação. A presença de um parceiro pode favorecer o monitoramento da saúde e a busca precoce por assistência médica, mas outros fatores, como condições socioeconômicas, acesso a cuidados especializados e o próprio engajamento do paciente no tratamento, parecem ter um impacto mais significativo no prognóstico da IC (Jaarsma *et al.*, 2021).

No que diz respeito à avaliação da composição corporal, em específico o nível de obesidade, observou-se que 45,83% (n=11) dos indivíduos avaliados encontravam-se em estado de sobrepeso, já em relação à análise do percentual de gordura corporal, 50% (n=12) tinha o percentual de gordura classificado como muito ruim baseado nas variáveis de sexo e idade. Sobre a avaliação do nível de massa muscular, 41,67% (n=10) dos avaliados apresentaram nível de massa muscular considerado como normal para o seu gênero, altura e idade. Já para a variável de relação cintura/quadril, observa-se que 41,67% (n=10) da amostra apresenta valores considerados dentro da faixa de normalidade, baseando-se em seu gênero (Tabela 2).

**Tabela 2** – Dados de composição corporal dos participantes atendidos no laboratório de Fisioterapia em Pesquisa Cardiorrespiratória, João Pessoa (2024).

Variáveis	N	%
<b>Nível de obesidade</b>		
Peso normal	6	25
Sobrepeso	11	45,83
Obesidade grau 1	2	8,33
Obesidade grau 2	3	12,5
Obesidade grave	2	8,33
<b>% de gordura corporal</b>		
Excelente	1	4,17
Bom	1	4,17
Melhor do que a média	6	25
Pior do que a média	4	16,67
Muito ruim	12	50
<b>Nível de massa muscular</b>		
Bom	9	37,5
Normal	13	54,17
Abaixo do normal	2	8,33
<b>Relação cintura/quadril</b>		
Normal	10	41,67
Elevada	5	20,83
Muito elevada	9	37,5

**Fonte:** Dados da pesquisa (2024).

No que se refere aos dados de composição corporal, é perceptível que a maioria dos participantes do estudo se encontra com peso acima do normal e percentual de gordura elevado, entretanto a maior parte da amostra não apresenta alterações no percentual de massa muscular e nos valores de cintura-quadril. Esses dados diferem dos encontrados na literatura atual, muito possivelmente porque os valores de composição corporal geralmente diferem de acordo com a classe funcional de indivíduos com insuficiência cardíaca, devido às diferenças principalmente no que se refere à sintomatologia da doença, que impacta na realização de atividade física e, dessa forma, também na composição corporal. Outros fatores como sexo e faixa etária também

devem ser levados em conta ao analisar dados de composição corporal, pois a composição corporal sofre influência de aspectos hormonais, metabólicos e do próprio processo de envelhecimento (Gulatava; Tabagari; Tabagari, 2021)

Ainda segundo Gulatava, Tabagari e Tabagari (2021), em indivíduos mais jovens, a preservação da massa muscular tende a ser maior, enquanto o avanço da idade está associado à redução progressiva da massa magra e ao aumento do percentual de gordura, fenômeno conhecido como sarcopenia. Além disso, diferenças hormonais entre homens e mulheres impactam diretamente a distribuição de gordura corporal e a razão cintura-quadril, uma vez que os hormônios sexuais regulam o acúmulo de gordura em diferentes regiões do corpo. Esse fator pode explicar, pelo menos em parte, a divergência entre os achados do presente estudo e os dados previamente descritos na literatura, uma vez que a composição corporal não pode ser analisada de forma isolada, sem considerar o contexto fisiológico e clínico de cada paciente.

Outro ponto relevante é que a composição corporal de indivíduos com insuficiência cardíaca pode variar significativamente conforme a classe funcional da doença. Pacientes em estágios mais avançados tendem a apresentar maior impacto na capacidade funcional, com consequente redução da prática de atividade física e perda de massa muscular. Em contrapartida, indivíduos em classes funcionais mais leves podem manter uma composição corporal mais próxima da normalidade, pois apresentam menor limitação ao esforço físico. Além disso, o estado nutricional e a presença de comorbidades, como diabetes e dislipidemias, também interferem na distribuição de massa muscular e gordura (Donataccio; Vanzo; Bosello, 2020).

No que diz respeito aos efeitos na neuromodulação por HD-tDCS sobre o desempenho físico e percepção subjetiva de esforço, foi verificado que os valores de BORG antes e após a realização do Teste de Caminhada de Seis Minutos, não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os três tipos de corrente aplicados. Esse achado sugere que, independentemente da modalidade de estimulação utilizada, seja inibição do córtex temporal esquerdo, estimulação ou sham, não houve influência perceptível sobre a fadiga periférica ou respiratória autorrelatada pelos participantes durante o protocolo de exercício.

Além disso, a análise estatística revelou que a distância percorrida durante o TC6, também não apresentou diferenças entre os grupos experimentais e o sham. Esses achados indicam que a intervenção com HD-tDCS, da forma como foi aplicada neste estudo, não promoveu modificações substanciais sobre a capacidade funcional e o desempenho físico dos participantes no teste submáximo de caminhada para os tipos de corrente avaliados (Tabela 3).

**Tabela 3** – Comparação intra e entre grupos para os desfechos de percepção subjetiva de esforço e distância percorrida no TC6 dos participantes atendidos no laboratório de Fisioterapia em Pesquisa Cardiorrespiratória, João Pessoa (2024).

Variáveis	Corrente anódica*	Corrente catódica*	Corrente sham*	Valor de P
<b>BORG MMII inicial</b>	0	0	0	0,147
<b>BORG MMII final</b>	3	2	2	0,700
<b>Dif_BORG MMII</b>	2	2	2	0,892
<b>BORG R inicial</b>	0	0	0	0,280
<b>BORG R final</b>	3	2	2	0,947
<b>DIF_BORG R</b>	2	2	2	0,703
<b>Distância percorrida</b>	393,00	414,50	399,50	0,160

\*Dados representados em mediana.

**Fonte:** Dados da pesquisa (2024)

Não foram encontrados estudos na literatura que correlacionem os efeitos da neuromodulação do córtex temporal esquerdo ou insular sobre a percepção subjetiva de esforço frente a atividade física, no entrando, os estudos de Santos (2024), que observou os efeitos agudos da neuromodulação por corrente anódica no córtex motor primário de corredores, apontaram que a pesar na melhora do desempenho físico e consequente aumento da capacidade funcional com ganho de força muscular, não houveram alterações no que diz respeito a percepção subjetiva de esforço entre os indivíduos que receberam a corrente anódica e aqueles que receberam a sham.

Os achados do presente estudo ainda sugerem que, embora não tenham atingido significância estatística, a exposição à corrente catódica pode ter induzido algumas alterações fisiológicas relevantes nos participantes. A maior distância percorrida no teste de caminhada de seis minutos (TC6) nesse grupo pode indicar uma melhora na capacidade funcional, possivelmente relacionada a uma melhor regulação autonômica durante o esforço. Esse efeito pode ser consequência de um impacto diferencial da corrente catódica sobre a excitabilidade cortical do córtex insular, uma região envolvida no controle autonômico e na percepção do esforço. Ainda que a ausência de significância impeça conclusões definitivas, a tendência observada sugere um potencial benefício dessa modalidade de neuromodulação na performance funcional (Gu *et al.*, 2022).

Apesar de não terem sido encontrados estudos que abordem a neuromodulação catódica no córtex temporal e insular esquerdos para o desfecho de capacidade funcional cardiorrespiratória, Angius *et al.* (2019) relatam que após modulação do córtex pré-frontal

dorsolateral esquerdo com corrente anódica em indivíduos saudáveis, foi observado como resultado a melhora no controle inibitório do sistema autônomo e no desempenho em exercícios de resistência, com conseqüente aumento da capacidade funcional cardiorrespiratória e força muscular, o que pode significar um efeito promissor da eletromodulação no condicionamento cardiovascular, respiratório e muscular, entretanto esse efeito se mostra dependente região cerebral modulada.

Já no que se refere aos efeitos da neuromodulação na variabilidade da frequência cardíaca, em específico no domínio frequência, foi possível identificar uma diferença nos resultados da potência da alta frequência no grupo de corrente catódica que atingiu uma mediana de 55,90hz em comparação com os grupos de corrente anódica e sham, que atingiram respectivamente medianas de 172hz e 219hz (p-valor=0,003). Contudo, ao aprofundar a análise dos demais componentes da VFC, verificou-se que os valores correspondentes à potência da baixa frequência (LF), bem como a relação LF/HF, não apresentaram diferenças significativas entre os grupos analisados (Tabela 4).

**Tabela 4** – Comparação intra e entre grupos para os desfechos da variabilidade da frequência cardíaca no domínio frequência dos participantes atendidos no laboratório de Fisioterapia em Pesquisa Cardiorrespiratória, João Pessoa (2024).

Variáveis	Corrente anódica*	Corrente catódica*	Corrente sham*	Valor de P
<b>Potencia LF</b>	222,40	214,50	431,00	0,061
<b>Potencia HF</b>	172,00 <sup>AB</sup>	55,90 <sup>A</sup>	219,00 <sup>B</sup>	<b>0,003</b>
<b>LF/HF</b>	49,55	44,55	66,50	0,582

\*Dados representados em mediana.

**Fonte:** Dados da pesquisa (2024)

A potência de alta frequência é um componente da VFC diretamente associado à atividade parassimpática e ao tônus vagal, que regula a adaptação da pressão arterial e a resistência a fadiga. Esse achado sugere que essa modulação cerebral pode ter regulado, de alguma forma, a resposta autonômica dos participantes, influenciando especificamente a regulação do sistema nervoso autônomo no domínio da alta frequência. Ou seja, nos grupos de corrente anódica e sham, os participantes, devido a potência de alta frequência mais elevada, estariam menos adaptados ao esforço físico e mais suscetíveis a fadiga em comparação ao grupo de corrente catódica (Tiwari *et al.*, 2021).

Considerando que a potência LF pode refletir tanto a atividade simpática quanto parassimpática, e que a relação LF/HF é frequentemente utilizada como um marcador do balanço autonômico entre esses dois sistemas, a ausência de diferenças nesses parâmetros sugere que a modulação proporcionada pela HD-tDCS pode ter sido seletiva e predominantemente direcionada à atividade parassimpática (Tiwari *et al.*, 2021).

Tais achados a respeito da VFC entram em consonância aos estudos de Gomes (2011), que ao buscarem identificar os efeitos da estimulação transcraniana por corrente contínua no lobo temporal esquerdo sobre a variabilidade da frequência cardíaca de mulheres hipertensas, encontrou que em comparação com as correntes anódica e sham, apenas a corrente catódica apresentou algum efeito na modulação das funções autonômicas e no aumento da VFC, com impacto metabólico.

A potência HF na variabilidade da frequência cardíaca (VFC) está associada à modulação parassimpática do coração, e uma redução desse componente pode indicar menor atividade vagal ou maior predominância simpática. Esse achado parece contraditório à redução da frequência cardíaca final nesse grupo, já que uma menor atividade parassimpática normalmente levaria a um aumento da frequência cardíaca. No entanto, é possível que a corrente catódica tenha promovido ajustes no balanço autonômico que não seguem os padrões habituais, possivelmente por um efeito compensatório entre os sistemas simpático e parassimpático (Fonseca *et al.*, 2019).

A análise dos desfechos hemodinâmicos revelou que a frequência cardíaca pós TC6 foi a única variável que apresentou diferença entre os grupos ( $p = 0,045$ ). Observou-se um aumento mais acentuado na FC final no grupo submetido à corrente anódica (mediana de 92 bpm) em comparação com a corrente catódica (85 bpm) e o grupo sham (91 bpm). A análise post-hoc indicou que a FC final do grupo catódico diferiu significativamente da do grupo anódico e sham. Para as demais variáveis analisadas, incluindo pressão arterial sistólica (PAS), pressão arterial diastólica (PAD) e SpO<sub>2</sub>, não foram identificadas diferenças entre os grupos em nenhum dos momentos avaliados ( $p > 0,05$ ) (Tabela 5).

**Tabela 5** – Comparação intra e entre grupos para os desfechos de frequência cardíaca, pressão arterial e saturação parcial de oxigênio dos participantes atendidos no laboratório de Fisioterapia em Pesquisa Cardiorrespiratória, João Pessoa (2024).

Variáveis	Corrente anódica*	Corrente catódica*	Corrente sham*	Valor de P
<b>FC inicial</b>	74	75	71	0,594
<b>FC intermedia</b>	76	72	73	1,000
<b>FC final</b>	92 <sup>AB</sup>	85 <sup>A</sup>	91 <sup>B</sup>	<b>0,045</b>
<b>PAS inicial</b>	120	120	120	0,856
<b>PAD inicial</b>	80	80	80	0,130
<b>PAS intermedia</b>	120	120	120	0,664
<b>PAD intermedia</b>	80	80	80	0,265
<b>PAS final</b>	120	120	125	0,147
<b>PAD final</b>	80	80	80	0,251
<b>SPO2 inicial</b>	97	96	97	0,453
<b>SPO2 intermedia</b>	97	97	97	0,437
<b>SPO2 final</b>	98	98	98	0,625

\*Dados representados em mediana.

**Fonte:** Dados da pesquisa (2024)

Os achados referentes a frequência cardíaca final apontam que a menor FC no grupo que recebeu a corrente catódica pode estar relacionada a uma adaptação tardia no controle da FC durante a recuperação imediata pós-exercício, possivelmente refletindo um ajuste na interação entre os componentes simpático e parassimpático do sistema nervoso autônomo. Esse efeito pode ser atribuído à ação da HD-tDCS sobre regiões envolvidas na regulação cardiovascular, como o córtex temporal esquerdo e insular, que desempenham um papel central na modulação da resposta autonômica ao exercício (Gu *et al.*, 2022).

A menor frequência cardíaca final observada no grupo de corrente catódica em comparação aos grupos sham e anódica é um achado relevante, pois sugere um efeito potencialmente benéfico na regulação autonômica ao final do esforço. Reduções na frequência cardíaca pós-exercício são geralmente interpretadas como um indicativo de melhor recuperação autonômica e maior eficiência cardiovascular. Esse efeito pode estar relacionado a uma menor demanda metabólica durante o exercício, permitindo uma recuperação mais rápida após o esforço. Alternativamente, pode-se considerar que a corrente catódica influenciou diretamente a

resposta autonômica ao exercício, reduzindo a ativação simpática ao longo da atividade (Fonseca *et al.*, 2019).

A ausência de efeitos sobre a pressão arterial nos participantes do presente estudo sugere que as neuromodulações utilizadas não influenciaram diretamente o controle hemodinâmico imediato durante ou após a realização do esforço, o que pode estar relacionado tanto à intensidade e ao tempo de estimulação quanto à resposta individual dos participantes à corrente aplicada, pois os efeitos a respeito da neuromodulação por HD-tDCS elucidados na literatura sofrem influência desses e outros fatores que ainda necessitam ser melhor investigados (Machado *et al.*, 2021).

Entretanto, os achados da literatura como os estudos de Cordeiro (2021) contrastam com os dados do presente estudo, pois apontam efeito hipotensor após teste de esforço e redução da percepção de esforço em indivíduos pré-hipertensos submetidos e estimulação por corrente anódica contínua do córtex insular em apenas uma sessão, ainda assim, os autores ressaltam a necessidade de novos estudos para que se evidencie os efeitos agudos e crônicos dessa modulação sobre o controle autonômico cardiovascular.

Outro ponto que merece destaque é a comparação entre os efeitos da corrente anódica e da corrente catódica. A corrente anódica geralmente está associada a um aumento na excitabilidade cortical, enquanto a catódica tende a inibir a atividade das áreas estimuladas (Montenegro *et al.*, 2013). O fato de a corrente catódica ter levado a um desempenho aparentemente melhor no TC6 e a uma menor frequência cardíaca final sugere que a inibição do córtex insular pode ter modulado positivamente a resposta cardiovascular ao exercício. Isso contrasta com a hipótese de que a estimulação anódica do córtex insular melhoraria a função autonômica, o que levanta novas questões sobre os mecanismos envolvidos e o papel específico dessa área na regulação cardiovascular durante o esforço.

## CONCLUSÕES

Diante dos achados, conclui-se que embora a HD-tDCS, nas condições testadas, não tenha promovido efeitos significativos sobre a maioria das variáveis fisiológicas analisadas, sua influência sobre a modulação autonômica, particularmente na resposta da frequência cardíaca ao esforço e no domínio da alta frequência da variabilidade da frequência cardíaca, sugere um potencial para aplicações futuras na reabilitação cardiovascular, pois propiciaram como resultado na modulação catódica, uma melhor resposta da FC ao esforço físico. O curto período de intervenção impossibilitou a análise dos efeitos prolongados da estimulação, que

poderiam ser mais bem avaliados em protocolos de aplicação repetida e seguimento longitudinal.

Apesar dessas limitações, a segurança da HD-tDCS foi um ponto positivo, uma vez que não foram registrados eventos adversos durante o estudo. Isso reforça a viabilidade da técnica para futuras investigações e possíveis aplicações clínicas, especialmente em populações vulneráveis. Estudos futuros com protocolos mais prolongados e medidas contínuas de variáveis autonômicas e hemodinâmicas poderão fornecer uma compreensão mais aprofundada dos efeitos da neuromodulação na regulação cardiovascular. Além disso, a incorporação de avaliações neurofisiológicas pré e pós-intervenção poderá contribuir para esclarecer os mecanismos envolvidos e otimizar a aplicação da HD-tDCS como estratégia terapêutica na modulação autonômica e no desempenho cardiovascular.

## **PRODUTOS E ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O PERÍODO DO MESTRADO E IMPACTO SOCIAL, INOVAÇÃO E TECNOLOGIA DA PESQUISA**

O presente estudo tem relevante impacto científico e social ao avaliar os efeitos da estimulação transcraniana por corrente contínua de alta definição na função cardiovascular, percepção subjetiva de esforço e capacidade funcional de indivíduos com insuficiência cardíaca. A pesquisa proporcionou um acompanhamento sistemático dos participantes, permitindo a obtenção de dados relevantes sobre sua resposta à terapêutica. Além disso, foi possível identificar os efeitos da HD-tDCS na modulação autonômica cardíaca e na capacidade funcional dos indivíduos estudados.

Dessa forma, este estudo contribui para a inovação tecnológica e para o desenvolvimento de novas estratégias terapêuticas no campo da reabilitação cardiovascular, pois demonstrou que a terapêutica por neuromodulação, da forma como foi aplicada teve resultados na melhor adaptação da frequência cardíaca pós esforço físico, o que pode implementar protocolos de treinamento e reabilitação física para essa população.

Os equipamentos utilizados para as avaliações foram essenciais para a precisão dos dados coletados. A análise da variabilidade da frequência cardíaca permitiu um entendimento aprofundado sobre a influência da neuromodulação no controle autonômico do coração. Além disso, os protocolos de avaliação funcional forneceram informações detalhadas sobre os impactos da intervenção na qualidade de vida e na funcionalidade dos participantes.

Com isso, este estudo não apenas amplia o conhecimento sobre os efeitos da terapêutica na insuficiência cardíaca, mas também reforça a importância de futuras pesquisas

que investiguem ainda mais profundamente os efeitos da neuromodulação para aplicações terapêuticas e para a melhoria da assistência fisioterapêutica as pessoas com IC.

Como produto científico fruto desta pesquisa foi elaborado o artigo intitulado “Efeitos agudos da HD-tDCS na FC e VFC em indivíduos com insuficiência cardíaca”, que foi submetido a revista Ciência e saúde coletiva, classificada no Qualis Capes da área 21 como A1.

## REFERÊNCIAS

- ABESO, VI. Diretrizes Brasileiras de Obesidade. **ABESO - Associação Brasileira para o Estudo da Obesidade e da Síndrome Metabólica**, v. 4, p. 7-186, 2016.
- ADORNO, R. *et al.* Atualizações e avanços no tratamento da insuficiência cardíaca. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, v. 6, n. 4, p. 866-876, 2024.
- ANGIUS, L. *et al.* Transcranial Direct Current Stimulation over the Left Dorsolateral Prefrontal Cortex Improves Inhibitory Control and Endurance Performance in Healthy Individuals. **Neuroscience**, [S. l.], p. 34-45, 1 nov. 2019.
- ATS Statement - American Thoracic Society *Statement*: Guidelines for the six-minute walk test. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, [S. l.], p. 111-117, 2002.
- BALANÇA DE BIOIMPEDÂNCIA**. InBody 120. Ottoboni. Ottoboni, Rio de Janeiro, Brasil.
- BARRETTO, A.; RAMIRES, J. Insuficiência Cardíaca. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, [S. l.], p. 635-642, 31 jan. 2007.
- BIODIGITAL**. Plataforma interativa 3D. BioDigital Inc., 2023. Disponível em: <https://www.biodigital.com/>. Acesso em: 18 fev. 2025.
- BOCCHI, E. *et al.* III Diretriz Brasileira de Insuficiência Cardíaca Crônica. **Sociedade Brasileira de Cardiologia**, [S. l.], p. 1-22, 23 jun. 2009.
- BRAGAZZI, N. *et al.* Burden of heart failure and underlying causes in 195 countries and territories from 1990 to 2017. **European Journal of Preventive Cardiology**, [S. l.], p. 1682–1690, 12 fev. 2021.
- BRANCO, V. *et al.* Semiologia do aparelho cardiovascular: Anatomia e fisiologia. **Revista Caderno de Medicina**, [S. l.], p. 55-65, 25 abr. 2018.
- BRITTO, R. *et al.* Reference equations for the six-minute walk distance based on a Brazilian multicenter study. **Brazilian Journal Physical Therapy**, [S. l.], p. 556-563, 2013.
- BRUNONI, A. *et al.* Clinical research with transcranial direct current stimulation (tDCS): challenges and future directions. **Brain Stimul.**, [S. l.], p. 175-195, 2 mar. 2011.
- CAVALCANTE, M. *et al.* Perfil epidemiológico dos pacientes com insuficiência cardíaca em hospital público do distrito federal. **Revista contemporânea**, [S. l.], 2024.
- CAMM, A. J. *et al.* Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. **Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Circulation**, [S. l.], p. 1043-1065, 1 mar. 1996.
- CESTARI, V. *et al.* Distribuição Espacial de Mortalidade por Insuficiência Cardíaca no Brasil, 1996-2017. **Sociedade Brasileira de Cardiologia**, [S. l.], p. 41-51, 2022.
- Comitê Coordenador da Diretriz de Insuficiência Cardíaca. **Diretriz Brasileira de Insuficiência Cardíaca Crônica e Aguda**. *Arq Bras Cardiol*. 2018; 111(3):436-539.

**CORDEIRO, C.** *Efeito da estimulação transcraniana por corrente contínua na pressão arterial em indivíduos pré-hipertensos em um teste incremental máximo.* 2021. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde) – Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2021. Disponível em: <https://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/3579>. Acesso em: 25 fev. 2025.

DASILVA, A. *et al.* The Concept, Development, and Application of a Home-Based High-Definition tDCS for Bilateral Motor Cortex Modulation in Migraine and Pain. **Frontiers in pain research**, [S. l.], p. 1-11, 7 fev. 2022.

DHARMARAJAN, K.; RICH, M. Epidemiology, pathophysiology, and prognosis of heart failure in older adults. **Heart Failure Clinics**, [S. l.], p. 417-426, 12 jul. 2017.

DONATACCIO, M.; VANZO, A.; BOSELLO, O. Obesity paradox and heart failure. **Springer Nature**, [S. l.], 26 ago. 2020.

EICKEMBERG, Michaela *et al.* **Bioimpedância elétrica.** 2012.

FEITOSA, G.; FEITOSA FILHO, G.; CARVALHO, E. Alterações cardiovasculares da hipertensão arterial: hipertrofia ventricular esquerda, doença arterial coronária e insuficiência cardíaca. **Revista Brasileira de Hipertensão**, [S. l.], p. 280-287, 17 set. 2022.

FONSECA, G. *et al.* Desequilíbrio Simpático-Vagal está Associado com Sarcopenia em Pacientes do Sexo Masculino com Insuficiência Cardíaca. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, [S. l.], p. 739-746, 8 abr. 2019.

FREITAS, A.; CIRINO, R. Manejo ambulatorial da insuficiência cardíaca crônica. **Revista Medica da UFPR**, [S. l.], p. 123-136, set. 2017.

**GOMES, L.** *Efeitos da estimulação transcraniana por corrente contínua sobre a variabilidade da frequência cardíaca de mulheres hipertensas.* 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/5047>. Acesso em: 25 fev. 2025.

GU, Z. *et al.* Anodal high-definition transcranial direct current stimulation reduces heart rate and modulates heart-rate variability in healthy young people: A randomized cross-controlled trial. **Frontiers in Cardiovascular Medicine**, [S. l.], 2 dez. 2022.

GULATAVA, N.; TABAGARI, N.; TABAGARI, S. Bioelectrical impedance analysis of body composition in patients with chronic heart failure. **Georgian Medical News**, [S. l.], p. 94-98, 8 jun. 2021.

**HD-tDCS 4x1.** Modelo tDCS 1x1. Soterix Medical Inc., Woodbridge, Estados Unidos da América.

HOLLAND, A. *et al.* An official European Respiratory Society/American Thoracic Society technical standard: field walking tests in chronic respiratory disease. **European Respiratory Journal**, [S. l.], p. 1428-1446, 2014.

**HOLTER.** Cardios Seven. Cardios. Cardios, São Paulo, Brasil.

HOSSAIN, S.; DULAL, D.; FAYSAL, F. Prevalence of Cardiovascular Disease and Associated Risk Factors among Adults. **Dinkum Journal of Medical Innovations**, [S. l.], p. 379-390, jan. 2024.

- IOCCA, D. *et al.* Insuficiência cardíaca aguda: revisão integrativa. **Brazilian Journal of Health Review**, [S. l.], p. 14012–14026, 3 jul. 2023.
- JAARSMA, T. *et al.* Self-care of heart failure patients: practical management recommendations from the Heart Failure Association of the European Society of Cardiology. **European Journal of Preventive Cardiology**, [S. l.], p. 157-174, 20 set. 2020.
- KUROGI, E.; BUTCHER, R.; SALVETTI, M. Relação entre capacidade funcional, desempenho e sintomas em pacientes internados com insuficiência cardíaca. **Revista brasileira de enfermagem**, [S. l.], p. 1-7, 1 jun. 2020.
- MACHADO, L. *et al.* tDCS in Exercise, Sport Performance, and Recovery. **Transcranial Direct Current Stimulation in Neuropsychiatric Disorders: Clinical Principles and Management**, v. 19, p. 413, 2021.
- MAUDRICH, T. *et al.* Single-session anodal transcranial direct current stimulation to enhance sport-specific performance in athletes: A systematic review and meta-analysis. **Brain Stimulation**, [S. l.], p. 1517-1529, dez. 2022.
- MEDRONHO, R. **Epidemiologia**. São Paulo, Ateneu, 2005.
- MONTENEGRO, R. *et al.* Estimulação transcraniana por corrente contínua: da aplicação clínica ao desempenho físico. **Revista HUPE**, [S. l.], v. 12, n. 4, p. 27-37, 2013.
- MORYA, E. *et al.* Beyond the target area: an integrative view of tDCS-induced motor cortex modulation in patients and athletes. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, 2019, v. 16, n. 1, p. 1-29.
- NITSCHKE, M.; PAULUS, W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. **J Physiol (London)**, 2000, v. 527, p. 633–639.
- NOGUEIRA, *et al.* Insuficiência cardíaca aguda: revisão integrativa. **Brazilian Journal of Health Review**, [S. l.], p. 14012–14026, 3 jul. 2023. **Rev Bras Med Esporte**, [S. l.], p. 184-188, 12 jul. 2017.
- OLIVEIRA, G. *et al.* Sociodemographic characterization, clinical and cognitive profile of patients with Heart Failure. 2021.
- OPPENHEIMER, S.; CECHETTO, D. The insular cortex and the regulation of cardiac function. **Comprehensive Physiology**, v. 6, n. 2, p. 1081-1133, 2011.
- PARLIKAR, R. *et al.* High definition transcranial direct current stimulation (HD-tDCS): A systematic review on the treatment of neuropsychiatric disorders. **Asian Journal of Psychiatry**, [S. l.], p. 1-13, 6 jan. 2021.
- PIPPI, F. *et al.* O potencial de morbimortalidade da insuficiência cardíaca: uma abordagem cardiológica. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], p. 26685-26693, 13 abr. 2022.
- PLENTZ, R. *et al.* Treinamento muscular inspiratório em pacientes com Insuficiência Cardíaca: metanálise de estudos randomizados. **Arq. Bras. Cardiol.** 2012; 99(2): 762-771.
- PORTO, J. *et al.* Aspectos sociodemográficos e clínicos de pacientes com insuficiência cardíaca. **Brazilian Journal of Health Review**, [S. l.], p. 25737-25748, 24 out. 2023.
- ROGER, V. Epidemiology of Heart Failure: A Contemporary Perspective. **American Heart Association**, [S. l.], p. 1421-1434, 14 maio 2021.

**SANTOS, L.** *A estimulação transcraniana por corrente contínua aplicada de forma aguda otimiza o desempenho em corredores amadores de 5000 metros.* 2024. 54 f. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Programa de Pós-Graduação em Educação Física, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2024. Disponível em: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/19158>. Acesso em: 25 fev. 2025.

SEVERINO, P. *et al.* Reduction in heart failure hospitalization rate during coronavirus disease 19 pandemic outbreak. **ESC Heart Fail**, [S. l.], p. 4182-4188, 23 out. 2020.

SILVA, E. *et al.* Correlation between respiratory muscle strength, functional capacity and quality in congestive heart failure. **ConScientiae Saúde**, [S. l.], p. 249-254, 6 fev. 2019.

**SPSS.** Versão 27.0. IBM, 2020.

TEIXEIRA, D. *et al.* Variabilidade da frequência cardíaca com a mudança postural na insuficiência cardíaca crônica. **Rev Soc Cardio**, [S. l.], p. 29-33, 2017.

TIWARI, R. *et al.* Analysis of Heart Rate Variability and Implication of Different Factors on Heart Rate Variability. **Bentham Science Publishers**, [S. l.], p. 74-83, 2021.

ULATE-MONTERO, G.; ULATE-CAMPOS, A. Actualización en los mecanismos fisiopatológicos de la insuficiencia cardíaca. **Acta Médica Costarricense**, [S. l.], p. 5-12, mar. 2008.

VILLACORTA, H. Insuficiência Cardíaca e Sarcopenia: O que Está no Meio? **Sociedade Brasileira de Cardiologia**, [S. l.], 14 nov. 2023.

WENHUA, L. *et al.* Study on anti-fatigue effect of high-definition transcranial direct current stimulation on forearm muscles of upper limbs. **Science & Technology Review**, [S. l.], p. 112-120, 2024.

## **APÊNDICES**

**APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido**  
**GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA**  
**SECRETARIA DE ESTADO DA SAÚDE**  
**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

**APRESENTAÇÃO:** Este texto pode eventualmente apresentar palavras ou frases não conhecidas por você. Caso isso aconteça, por favor, diga-nos para que possamos esclarecer melhor suas dúvidas. Esta pesquisa trata-se da avaliação dos efeitos de um programa de reabilitação cardiopulmonar nos sistemas cardiovascular, respiratório e neurológico em indivíduos com doenças respiratórias ou cardiovasculares e está sendo desenvolvido pelos professores Dr. José Heriston de Moraes Lima e Dra. Suellen Mary Marinho dos Santos Andrade.

**Título: Efeitos agudos da Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua de Alta Definição na hemodinâmica cerebral e na variabilidade da frequência Cardíaca em indivíduos com insuficiência cardíaca.**

**OBJETIVOS:** Essa pesquisa se propõe a avaliar os efeitos de um protocolo de estimulação elétrica cerebral sobre os sistemas cardiovascular e nervoso em indivíduos com insuficiência cardíaca.

**PROCEDIMENTOS:** Inicialmente, serão levantadas informações como a idade, sexo, grau de instrução e outros e dados clínicos, como, dano físico e psicológico, uso de medicação e outros. Se você concordar em fazer parte do estudo, nós iremos aplicar alguns testes para avaliar os possíveis efeitos do protocolo de neuroestimulação. Serão aplicados questionários de qualidade de vida e da capacidade para caminhar, do cansaço, teste do esforço e verificação de massa e peso corporal dos participantes e como se encontra a atividade do cérebro dos participantes a partir da Espectroscopia por Infravermelho Próximo.

**RISCOS E BENEFÍCIOS:** Você poderá sentir formigamento, queimação, dor de cabeça, sonolência ou pode ter aderências na pele ou infecção na cabeça. Se você apresentar algum desses efeitos, a terapia será interrompida imediatamente e, se necessário será feito o tratamento por um médico ou um fisioterapeuta. Com o teste de caminhada de seis minutos, você poderá ter cansaço, contusão, torção ou queda, mas você estará com um fisioterapeuta durante todo o protocolo para diminuir o risco desses eventos. Se for necessário, o tempo de descanso durante o protocolo poderá ser aumentado. Todos os participantes do estudo serão beneficiados, pois vocês receberão avaliação e tratamento com um protocolo que pode melhorar os efeitos das doenças cardiovasculares.

**RESSARCIMENTO:** Não será feito nenhum pagamento para participar da pesquisa. A participação será de livre e espontânea vontade e caso haja algum custo financeiro adicional referente à participação na pesquisa será feito o devido ressarcimento.

**CONFIDENCIALIDADE DA PESQUISA:** Os resultados da pesquisa serão divulgados sem a identificação dos participantes e os protocolos serão arquivados por cinco anos no PPGFis da UFPB, de acordo com as exigências da Resolução nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde que trata sobre a bioética.

Para tanto, solicitamos, além de sua participação voluntária durante a pesquisa, sua autorização para apresentar e publicar os resultados deste estudo em eventos e revistas científicas. Por ocasião da publicação dos resultados, bem como no processo de avaliação e intervenção, seu nome será mantido em sigilo.

Em caso de dúvidas, favor entrar em contato com: José Heriston de Moraes Lima, Departamento de Fisioterapia, Centro de Ciências da Saúde, UFPB - Campus I, Cidade Universitária, João Pessoa, Paraíba, Brasil. Telefone: (83) 99664-1600. E-mail:joseheristonlima@yahoo.com.br

Ou

Comitê de Ética em Pesquisa do CCS/UFPB – Cidade Universitária / Campus I. Bloco Arnaldo Tavares, sala 812 – Fone: (83) 3216-7791.

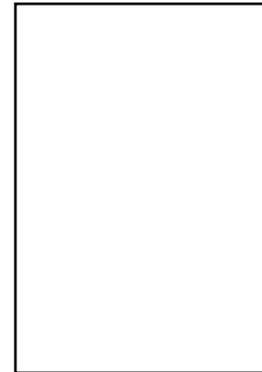
Eu,

\_\_\_\_\_,  
declaro estar ciente e informado(a) sobre os procedimentos de realização da pesquisa, conforme explicitados acima, e aceito participar voluntariamente da mesma.

\_\_\_\_\_  
Assinatura do Participante da Pesquisa ou Responsável Legal

OBSERVAÇÃO: (em caso de analfabeto - acrescentar)

\_\_\_\_\_  
Assinatura da Testemunha



Polegar Direito

\_\_\_\_\_  
Assinatura do Pesquisador Responsável

Obs.: O sujeito da pesquisa ou seu representante e o pesquisador responsável deverão rubricar todas as folhas do TCLE apondo suas assinaturas na última página do referido Termo

## APÊNDICE B – Ficha de avaliação sociodemográfica



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
LABORATÓRIO DE FISIOTERAPIA EM PESQUISA CARDIORRESPIRATÓRIA

### INFORMAÇÃO DEMOGRÁFICA

A.1 NOME COMPLETO: \_\_\_\_\_

A.2 SEXO (1)  Feminino (2)  Masculino

A.3 DATA DE NASCIMENTO: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ (dia/mês/ano) TELEFONE: \_\_\_\_\_

A.4 ENDEREÇO: \_\_\_\_\_

A.5 ANOS DE EDUCAÇÃO FORMAL: \_\_\_\_\_

A.6 ESTADO MATRIMONIAL ATUAL: (Assinale somente o mais compatível)

Nunca foi casado  Separado  Viúvo

Atualmente casado  Divorciado  Coabitação  (concubinato)

A.7 OCUPAÇÃO ATUAL (Selecione a única melhor opção)

Emprego assalariado  Aposentado

Trabalha por conta própria (autônomo)  Desempregado (razão de saúde)

Não assalariado, voluntário/caridade  Desempregado (outra razão)

Estudante  Preços domésticos/Dona de casa

Outro  (por favor especifique): \_\_\_\_\_

A.8 Data da última internação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

B. Medicamentos usados no momento: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

C. Resultado do último Ecocardiograma: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

D. Hand-grip: \_\_\_\_\_, Variabilidade da FC: \_\_\_\_\_.

## **ANEXOS**



4	Um pouco forte
5	Forte
6	
7	Muito forte
8	
9	Muito, muito forte
10	Esforço máximo

#### ENCORAJAMENTO PADRONIZADO PARA O TC6´ SUGERIDO PELA ERS/ATS

1° MIN	“ Você está indo bem. Ainda restam 5 minutos. ”
2° MIN	“ Mantenha um bom trabalho. Ainda restam 4 minutos. ”
3° MIN	“ Você está indo muito bem. Já foi metade do teste. ”
4° MIN	“ Mantenha um bom trabalho. Faltam apenas 2 minutos. ”
5° MIN	“ Você está indo muito bem. Falta apenas 1 minutos para terminar o teste. ”
6° MIN	“ Por favor, pare onde você está. ”
Caso o paciente necessite parar durante o teste (desde que SpO2>85%): “ Por favor, volte a caminhar assim que se sentir capaz. ”	

**Fonte:** Adaptado de Holland e colaboradores (2014).