

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA E DESPORTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA**

Tamiris Schaeffer Fontoura

**Influência do Ciclo Menstrual na Modulação Autonômica Cardíaca Pós-
Exercício Físico**

Juiz de Fora

2026

Tamiris Schaeffer Fontoura

**Influência do Ciclo Menstrual na Modulação Autonômica Cardíaca
Pós-Exercício Físico**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação Física da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Educação Física. Área de concentração: Exercício e Esporte.

Orientador: Dr. Moacir Marocolo

Coorientador: Dra. Ana Eliza Andreazzi

Juiz de Fora

2026

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Schaeffer Fontoura, Tamiris.

Influência do Ciclo Menstrual na Modulação Autonômica Cardíaca
Pós-Exercício Físico / Tamiris Schaeffer Fontoura. -- 2026.
72 f.

Orientadora: Moacir Marocolo Júnior

Coorientadora: Ana Eliza Andreazzi

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Juiz de Fora,
Faculdade de Educação Física. Programa de Pós-Graduação em
Educação Física, 2026.

1. Ciclo menstrual. 2. Modulação autonômica cardíaca. 3.
Recuperação pós-exercício. I. Marocolo Júnior , Moacir , orient. II.
Andreazzi , Ana Eliza , coorient. III. Título.

Tamiris Schaeffer Fontoura

Influência do Ciclo Menstrual na Modulação Autonômica Cardíaca Pós-Exercício Físico

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação Física da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Educação Física. Área de concentração: Exercício e Esporte

Aprovada em 27 de fevereiro de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Moacir Marocolo Júnior -

Orientador Universidade Federal
de Juiz de Fora

Profª. Drª. Ana Eliza Andreazzi -

Coorientadora Universidade
Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Leandro de Oliveira Sant' Anna
Universidade Católica de Petrópolis

Profª. Drª. Lilian Pinto da Silva
Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª. Drª. Valquíria Pereira de Medeiros
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Vinicius de Oliveira Damasceno
Universidade da Força Aérea

Juiz de Fora, 26/01/2026.



Documento assinado eletronicamente por **VINICIUS DE OLIVEIRA DAMASCENO, Usuário Externo**, em 27/02/2026, às 20:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Lilian Pinto da Silva, Professor(a)**, em 28/02/2026, às 14:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Moacir Marocolo Junior, Professor(a)**, em 28/02/2026, às 15:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Eliza Andreazzi, Servidor(a)**, em 02/03/2026, às 20:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leandro de Oliveira Sant'Ana, Usuário Externo**, em 03/03/2026, às 22:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Valquíria Pereira de Medeiros, Professor(a)**, em 07/03/2026, às 16:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-UFRF (www2.ufrf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **2840800** e o código CRC **36EDE7BA**.

Dedico este trabalho aos meus pais, à minha avó e ao meu marido, cujo amor, apoio incondicional e inspiração constante foram fundamentais para a realização desta tese.

AGRADECIMENTOS

Este foi um período longo e profundamente marcante da minha vida, atravessado por desafios que, em muitos momentos, me fizeram pensar em desistir. Ao longo desses anos, experimentei sentimentos de impotência, insegurança e temor — entre eles, o receio de concluir um doutorado sem perspectivas profissionais imediatas, o medo dos julgamentos externos por estar há tanto tempo nesse percurso e as dúvidas recorrentes sobre se este era, de fato, o caminho certo a seguir.

Com o passar do tempo, porém, fui compreendendo que nenhum título é capaz de definir integralmente quem eu sou. Aprendi que o doutorado não me define como profissional, não me define como pesquisadora e, tampouco, como pessoa. Ele representa uma etapa, um processo de formação e amadurecimento, mas não a totalidade da minha identidade.

Paralelamente a esse percurso acadêmico, tive a oportunidade de vivenciar experiências profissionais extremamente significativas. Fui contemplada com uma bolsa de doutorado no Colégio de Aplicação João XXIII, durante um ano, experiência que abriu portas e ampliou horizontes, permitindo-me alcançar outras conquistas importantes, como a docência no ensino superior, um objetivo pelo qual lutei intensamente. Atualmente, tenho a satisfação de atuar em um dos melhores colégios públicos de Juiz de Fora, vivendo experiências profissionais novas, desafiadoras e enriquecedoras, muitas das quais jamais imaginei vivenciar.

Se a defesa e a conclusão deste doutorado se concretizarem, acredito que outras oportunidades ainda surgirão, talvez ainda mais desafiadoras, surpreendentes e transformadoras. Contudo, tenho plena convicção de que nada disso teria sido possível sem o apoio, a presença e a contribuição das pessoas que passo a agradecer a seguir.

Aos meus pais, meu primeiro e mais sólido alicerce. Agradeço por todo o investimento, apoio emocional e confiança incondicional ao longo de toda a minha trajetória acadêmica. Nada disso teria sido possível sem o amor, o incentivo e a segurança que sempre me ofereceram, mesmo quando o caminho parecia longo e desafiador.

À **minha avó**, que sempre acompanhou minha caminhada com orgulho genuíno, carinho e palavras simples, mas cheias de significado. Suas perguntas constantes sobre “quando eu vou parar de estudar” sempre vieram acompanhadas de admiração e amor, tornando cada etapa dessa jornada ainda mais especial.

Ao **meu marido**, por ser muito mais do que um companheiro. Obrigada pela paciência infinita, pelo apoio incondicional nos momentos de ansiedade, pelas palavras de conforto nas horas difíceis e por caminhar ao meu lado com parceria, respeito e amor. Você foi fundamental para que eu chegasse até aqui!

Ao **meu irmão e à minha cunhada**, pelo apoio constante, pelo carinho e por estarem sempre presentes, mesmo à distância, tornando os desafios mais leves e as conquistas ainda mais significativas.

Ao professor **Mateus Laterza**, meu primeiro orientador, por ter me acompanhado ao longo desses quatro anos de doutorado e por estar presente em tantos momentos da minha formação desde a graduação. Agradeço pela orientação cuidadosa, pela confiança, pelos ensinamentos acadêmicos e pela disponibilidade em momentos decisivos da minha trajetória.

Aos amigos da pós-graduação, que dividiram comigo angústias, aprendizados e conquistas. Em especial, à **Tuany Mageste**, que foi muito mais do que uma amiga: foi uma irmã escolhida, presença constante, apoio sincero e companheira indispensável nessa caminhada.

Agradeço, de forma muito especial, a **todas as voluntárias** que participaram desta pesquisa. A disponibilidade, o comprometimento e a confiança de cada uma foram fundamentais para a realização deste estudo. Sem a colaboração de vocês, esta tese não teria sido possível. Meu sincero reconhecimento pela generosidade em contribuir com a ciência e com o avanço do conhecimento na área.

Agradeço também às alunas de iniciação científica **Isabela** e **Eva**, pelo apoio, dedicação e empenho ao longo do processo final deste trabalho. A colaboração de vocês foi essencial para a coleta, organização e condução das etapas da pesquisa, e contribuiu de maneira significativa para a conclusão desta tese. Muito obrigada pelo comprometimento, responsabilidade e parceria ao longo desse percurso.

Agradeço com imensa gratidão ao **Roberto**, por toda a atenção, paciência e dedicação ao longo de todo este percurso. Sempre educado e extremamente solícito, nunca mediu esforços para me ajudar, especialmente nos momentos em que mais precisei, seja no preenchimento de documentos ou no esclarecimento de dúvidas. Sua postura acolhedora, profissionalismo e prontidão em ajudar fizeram toda a diferença para que este trabalho pudesse ser conduzido.

À professora Ana Eliza Andreazzi e ao professor Moacir Marocolo, pela paciência, pelo incentivo e por não permitirem que eu desistisse do meu título nos momentos

mais difíceis. Vocês são inspiração de profissionais, docentes e pesquisadores, e levo comigo o desejo genuíno de, um dia, ser para meus alunos aquilo que vocês foram para mim.

À professora Ana Eliza Andreazzi, que esteve ao meu lado desde os primeiros passos da minha formação acadêmica. Fui sua aluna de iniciação científica, posteriormente de mestrado e, agora, de doutorado, trajetória que por si só já evidencia a profundidade e a continuidade dessa parceria construída ao longo dos anos. Ana, faltam palavras para expressar a gratidão por tudo o que aprendi ao seu lado — não apenas no âmbito científico, mas também humano e profissional. Guardo com enorme carinho as memórias das viagens para Maringá, dos momentos vividos no laboratório do professor Paulo Matias, das pesquisas com animais de laboratório — área pela qual desenvolvi uma paixão profunda — e dos inúmeros encontros que marcaram minha formação. Cada orientação, cada conversa e cada desafio compartilhado contribuíram de maneira decisiva para a pesquisadora e professora que me tornei. Sua dedicação à ciência, à docência e à formação de pessoas sempre foi, e continua sendo, uma grande inspiração para mim. Levo comigo seus ensinamentos, seu rigor científico e, sobretudo, o exemplo de profissional ética, generosa e apaixonada pelo que faz. Meu mais sincero e enorme agradecimento por caminhar comigo em tantas etapas e por fazer parte de forma tão significativa da minha história acadêmica e pessoal.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. O doutorado não é apenas um título acadêmico; é um processo de transformação pessoal, de amadurecimento e de construção coletiva. Cada apoio, cada palavra e cada gesto foram fundamentais para que esse sonho se tornasse realidade. Que este trabalho represente não apenas o fim de uma etapa, mas o início de novos caminhos, novos desafios e novas possibilidades.

“Depois de escalar uma grande montanha, descobrimos apenas que existem muitas outras montanhas a escalar.” (Nelson Mandela)

RESUMO

A crescente presença feminina no exercício destaca a importância de compreender como o ciclo menstrual influencia as respostas fisiológicas agudas. As oscilações hormonais típicas de cada fase podem modular a regulação autonômica cardíaca, frequentemente avaliada pela variabilidade da frequência cardíaca (VFC) durante a recuperação pós-esforço. Devido à inconsistência de dados sobre essa influência no exercício aeróbio moderado, este estudo investigou a modulação autonômica pós-exercício nas fases folicular inicial e lútea média em mulheres eumenorreicas. Participaram 14 mulheres saudáveis (≥ 18 anos), com ciclos menstruais regulares (25-34 dias), não usuárias de contraceptivos hormonais e não fumantes, avaliadas em duas condições experimentais: fase folicular inicial (1^o-5^o dia após o início da menstruação) e fase lútea média (22^o-26^o dia do ciclo). Em cada sessão experimental, as participantes realizaram um protocolo padronizado de exercício aeróbio em cicloergômetro com duração total de 60 minutos, composto por aquecimento (5 min $< 65\%$ da frequência cardíaca de reserva), fase principal (50 min entre 65-75% da frequência cardíaca de reserva) e recuperação ativa (5 min $< 65\%$ da frequência cardíaca de reserva), com monitorização contínua da frequência cardíaca. A pressão arterial foi aferida de modo seriado, e a recuperação pós-exercício foi acompanhada por 60 minutos com registros autonômicos e hemodinâmicos em repouso e em múltiplos momentos subsequentes. A VFC foi analisada por índices no domínio do tempo (LnSDNN e LnRMSSD) e no domínio da frequência (LnHF). A análise estatística foi realizada por ANOVA de modelo misto (fase \times tempo), com pós-testes e correções apropriadas, adotando-se nível de significância de 5%. Os resultados indicaram que as características antropométricas e parâmetros hemodinâmicos basais não diferiram entre as fases do ciclo menstrual, assegurando comparabilidade entre condições. A recuperação autonômica foi predominantemente determinada pelo tempo pós-exercício, com ausência de diferenças globais relevantes entre fases para frequência cardíaca, pressão arterial e a maioria dos índices de VFC ao longo do período de recuperação. Contudo, observou-se um padrão de reativação vagal inicial mais eficiente na fase lútea média, evidenciado principalmente pelo comportamento do LnRMSSD nos minutos iniciais após o esforço, indicando maior modulação parassimpática nessa fase, sem repercussões sustentadas no perfil global de recuperação ao longo dos 60 minutos. Conclui-se que, em mulheres eumenorreicas submetidas a exercício aeróbio de

intensidade moderada, as fases folicular inicial e lútea média não promovem alterações globais relevantes na recuperação autonômica cardíaca; entretanto, a fase lútea média pode influenciar de forma sutil a cinética vagal precoce, sugerindo que os marcadores dos primeiros minutos de recuperação são mais sensíveis às variações hormonais do ciclo menstrual.

Palavras-chave: Ciclo menstrual; Modulação autonômica cardíaca; Recuperação pós-exercício.

ABSTRACT

The increasing participation of women in recreational and competitive exercise programs highlights the need to understand physiological particularities that may influence acute responses to exercise and post-exercise recovery. Among these factors, the menstrual cycle represents an important source of biological variability due to the hormonal fluctuations that characterize its phases, which may influence cardiovascular and autonomic regulation. Heart rate variability (HRV) reflects the dynamics of cardiac autonomic regulation, particularly vagal modulation, and is widely used as an indicator of physiological recovery following exercise, during which hemodynamic and autonomic adjustments occur to restore homeostasis. However, findings regarding the influence of menstrual cycle phases on autonomic recovery kinetics after moderate-intensity aerobic exercise remain inconsistent. Therefore, the aim of this study was to investigate the influence of the early follicular and mid-luteal phases of the menstrual cycle on cardiac autonomic modulation during post-exercise recovery in eumenorrheic women. Fourteen healthy women (≥ 18 years) with regular menstrual cycles (25–34 days), non-smokers and not using hormonal contraceptives, participated in the study. Participants were evaluated under two experimental conditions: early follicular phase (1st–5th day after the onset of menstruation) and mid-luteal phase (22nd–26th day of the cycle). In each experimental session, participants performed a standardized aerobic exercise protocol on a cycle ergometer lasting 60 minutes, consisting of warm-up (5 min $< 65\%$ of heart rate reserve), main phase (50 min at 65–75% of heart rate reserve), and active recovery (5 min $< 65\%$ of heart rate reserve), with continuous heart rate monitoring. Blood pressure was measured repeatedly, and post-exercise recovery was monitored for 60 minutes with autonomic and hemodynamic recordings at rest and at multiple time points during recovery. HRV was analyzed using time-domain indices (SDNN, RMSSD, and LnRMSSD) and frequency-domain indices (LF, HF, and LF/HF ratio). Statistical analysis was performed using mixed-model ANOVA (phase \times time), followed by appropriate post hoc tests, adopting a significance level of 5%. The results indicated that anthropometric characteristics and baseline hemodynamic parameters did not differ between menstrual cycle phases, ensuring comparability between experimental conditions. Autonomic recovery was predominantly determined by post-exercise time, with no significant overall differences between phases for heart rate, blood pressure,

and most HRV indices throughout the recovery period. However, a pattern of more efficient early vagal reactivation was observed during the mid-luteal phase, particularly evidenced by the behavior of LnRMSSD in the first minutes following exercise, indicating greater parasympathetic modulation during this phase. Nevertheless, this effect did not result in sustained differences in the overall recovery profile during the 60-minute recovery period. In conclusion, in eumenorrheic women performing moderate-intensity aerobic exercise, the early follicular and mid-luteal phases of the menstrual cycle do not promote substantial global alterations in cardiac autonomic recovery. However, the mid-luteal phase may subtly influence early vagal recovery kinetics, suggesting that markers measured during the first minutes of recovery are more sensitive to hormonal variations across the menstrual cycle.

Keywords: Menstrual cycle; Cardiac autonomic modulation; Post-exercise recovery; Heart rate variability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Delineamento do protocolo experimental adotado no estudo, composto por duas visitas ao laboratório, realizadas nas diferentes fases do ciclo menstrual das participantes.	50
Figura 2 - Fluxograma de recrutamento das voluntárias	58
Figura 3 - Comportamento da frequência cardíaca (FC) em repouso e durante o período de recuperação após a sessão de exercício físico (n=14).	61
Figura 4 - Comportamento da pressão arterial sistólica (PAS) em repouso e durante o período de recuperação após a sessão de exercício físico (n = 14)	62
Figura 5 - Comportamento da pressão arterial diastólica (PAD) em repouso e durante o período de recuperação após a sessão de exercício físico (n = 14).	63
Figura 6 - Comportamento do LnSDNN em repouso e durante o período de recuperação após a sessão de exercício físico (n = 14).	65
Figura 7 - Comportamento do LnRMSSD em repouso e durante o período de recuperação após a sessão de exercício físico (n = 14).	66
Figura 8 - Comportamento do componente de alta frequência (HF) da VFC em repouso e durante o período de recuperação após a sessão de exercício físico (n=14).....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros fisiológicos utilizados para controle da intensidade do exercício durante o protocolo experimental.....	54
Tabela 2: Características descritivas da amostra.....	59
Tabela 3: Características antropométricas, composição corporal e variáveis hemodinâmica.....	59
Tabela 4: Questionário do nível de atividade física (IPAQ).....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACSM – American College of Sports Medicine

CAAE – Certificado de Apresentação de Apreciação Ética

ECG – Eletrocardiograma

E₂ – Estradiol

FC – Frequência cardíaca

FCR – Frequência cardíaca de reserva

FSH – Hormônio folículo-estimulante

GnRH – Hormônio liberador de gonadotrofinas

HF – High Frequency (Alta frequência)

HHA – Eixo hipotálamo–hipófise–adrenal

HHO – Eixo hipotálamo–hipófise–ovariano

HU/UFJF – Hospital Universitário da Universidade Federal de Juiz de Fora

IMC – Índice de massa corporal

LF – Low Frequency (Baixa frequência)

LH – Hormônio luteinizante

LnRMSSD – Logaritmo natural da raiz quadrada da média das diferenças sucessivas

LnSDNN – Logaritmo natural do desvio-padrão dos intervalos NN

NO – Óxido nítrico

PA – Pressão arterial

PAD – Pressão arterial diastólica

PAS – Pressão arterial sistólica

PSE – Percepção subjetiva de esforço

RED-S – Relative Energy Deficiency in Sport (Deficiência energética relativa no esporte)

RR – Intervalo entre batimentos cardíacos consecutivos

SDNN – Desvio-padrão dos intervalos NN

SNA – Sistema nervoso autônomo

TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

VFC – Variabilidade da frequência cardíaca

W – Watts

LISTA DE SÍMBOLOS

% — Percentual

< — Menor que

≥ — Maior ou igual a

°C — Graus Celsius

kg — Quilograma

kg/m² — Quilograma por metro quadrado

bpm — Batimentos por minuto

α — Nível de significância estatística

β — Erro tipo II

1-β — Poder estatístico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVO	15
3. JUSTIFICATIVA	15
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
4.1 BASES CONCEITUAIS SOBRE MULHERES, EXERCÍCIO FÍSICO E DESEMPENHO ESPORTIVO	16
4.2 FASES DO CICLO MENSTRUAL E PERFIL HORMONAL	19
4.3 EFEITOS DO ESTRADIOL E DA PROGESTERONA SOBRE O SISTEMA CARDIOVASCULAR E AUTÔNOMICO	21
4.4 A VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA (VFC) COMO MARCADOR DA MODULAÇÃO AUTÔNOMICA	23
4.5 O EXERCÍCIO FÍSICO E SUA INFLUÊNCIA NA MODULAÇÃO AUTÔNOMICA	28
4.5.1 Efeitos agudos do exercício sobre a modulação autonômica	29
4.5.2 Efeitos crônicos do exercício sobre a modulação autonômica	29
4.5.3 Exercício, VFC e equilíbrio simpato-vagal	30
5. MATERIAIS E MÉTODOS	33
6. RESULTADOS	41
7. DISCUSSÃO	49
8. CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS	57
ANEXO 1 - Parecer Consubstanciado do CEP	61

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a crescente participação feminina no exercício físico e no esporte tem ampliado o interesse na compreensão de particularidades fisiológicas que influenciam as respostas ao esforço e a recuperação pós-exercício. Nesse contexto, as variações hormonais do ciclo menstrual representam uma importante fonte de variabilidade biológica. (MOUNTJOY et al., 2018; BULL et al., 2020; ELLIOTT-SALE et al., 2021). Esse aumento da participação feminina tem impulsionado o interesse científico na compreensão das particularidades fisiológicas que podem influenciar as respostas ao exercício físico, o desempenho esportivo e os processos de recuperação pós-esforço (MOUNTJOY et al., 2018; BULL et al., 2020; ELLIOTT-SALE et al., 2021). Nesse contexto, é necessário considerar características específicas do organismo feminino, especialmente aquelas relacionadas às variações hormonais do ciclo menstrual (ELLIOTT-SALE et al., 2021; McNULTY et al., 2020; COSTELLO et al., 2014).

Historicamente, mulheres foram sub-representadas em estudos na área da fisiologia do exercício, sendo frequente a extrapolação de resultados obtidos em populações masculinas para o público feminino (COSTELLO et al., 2014; ELLIOTT-SALE et al., 2021). Essa limitação metodológica pode comprometer a generalização dos achados científicos e reduzir a aplicabilidade das recomendações relacionadas à prescrição e ao monitoramento do treinamento físico em mulheres (COSTELLO et al., 2014; ELLIOTT-SALE et al., 2021; COWLEY et al., 2021). Dessa forma, compreender como as características fisiológicas femininas influenciam as respostas ao exercício físico e os processos de recuperação é fundamental para o avanço do conhecimento na área da fisiologia do exercício (COLE et al., 1999; THAYER; YAMAMOTO; BROSSCHOT, 2010; MICHAEL; GRAHAM; DAVIS, 2017). Entre os fatores biológicos que podem influenciar essas respostas, o ciclo menstrual representa uma importante fonte de variabilidade fisiológica em mulheres (McNULTY et al., 2020; ELLIOTT-SALE et al., 2021).

O ciclo menstrual é caracterizado por flutuações hormonais cíclicas, principalmente nos níveis de estradiol e progesterona, que exercem efeitos relevantes sobre diferentes sistemas fisiológicos, incluindo os sistemas cardiovascular, metabólico e autonômico (SCHMALENBERGER et al., 2019). Essas

variações hormonais podem influenciar parâmetros fisiológicos associados ao exercício físico, como a utilização de substratos energéticos, o controle da temperatura corporal, as respostas hemodinâmicas e a percepção de esforço (JANSE DE JONGE, 2003; McNULTY et al., 2020). O ciclo menstrual é tradicionalmente dividido em fases folicular, ovulatória e lútea, sendo cada uma delas caracterizada por perfis hormonais distintos. Durante a fase folicular inicial, observa-se baixa concentração de estradiol e progesterona, enquanto na fase lútea ocorre elevação significativa da progesterona, acompanhada por níveis moderados de estradiol (REED; CARR, 2018). Essas diferenças hormonais podem influenciar mecanismos de regulação cardiovascular e autonômica, modulando parâmetros como frequência cardíaca, pressão arterial, resistência vascular periférica e atividade do sistema nervoso autônomo (CARTER; LAWLEY, 2007; CHARKOUDIAN; HART, 2012).

O sistema nervoso autônomo desempenha papel fundamental na regulação da função cardiovascular, atuando por meio da interação entre os ramos simpático e parassimpático (THAYER; LANE, 2000; SHAFFER; GINSBERG, 2017). Essa regulação pode ser avaliada de forma não invasiva por meio da variabilidade da frequência cardíaca (VFC), um método amplamente utilizado para investigar a modulação autonômica cardíaca em diferentes contextos fisiológicos e clínicos (TASK FORCE, 1996; SHAFFER; GINSBERG, 2017). A VFC fornece informações sobre a dinâmica da modulação autonômica do coração e tem sido empregada tanto para avaliar o estado fisiológico basal quanto para monitorar respostas e adaptações ao exercício físico (TASK FORCE, 1996; SHAFFER; GINSBERG, 2017; STANLEY; PEAKE; BUCHHEIT, 2013). Durante e após o exercício físico, o organismo passa por uma série de ajustes fisiológicos necessários para atender às demandas metabólicas do esforço e restabelecer a homeostase no período de recuperação (STANLEY; PEAKE; BUCHHEIT, 2013).

Nesse contexto, a análise da modulação autonômica no período pós-exercício tem sido utilizada como um importante indicador da recuperação cardiovascular, refletindo a reativação parassimpática e a retirada gradual da atividade simpática após o esforço (IMAI et al., 1994; STANLEY; PEAKE; BUCHHEIT, 2013). Evidências sugerem que as flutuações hormonais associadas ao ciclo menstrual podem influenciar a regulação autonômica cardiovascular.

O estradiol tem sido associado a efeitos cardioprotetores, incluindo aumento da

disponibilidade de óxido nítrico, melhora da função endotelial e possível predominância de modulação parassimpática (MENDELSON; KARAS, 2005; CARTER; LAWLEY, 2007; CHARKOUDIAN; HART, 2012). Por outro lado, a progesterona pode estar relacionada a maior ativação simpática e alterações na responsividade vascular (CARTER; LAWLEY, 2007; SCHMALENBERGER et al., 2019). Apesar dos avanços na literatura, ainda permanecem inconsistências quanto à influência das fases do ciclo menstrual sobre a modulação autonômica, especialmente durante a recuperação pós-exercício aeróbio de intensidade moderada (FONTOURA et al., 2025). Essas inconsistências decorrem, em grande parte, de diferenças metodológicas entre estudos, incluindo variações nos protocolos de exercício, nos métodos de análise da VFC e na identificação das fases do ciclo menstrual. Dessa forma, torna-se necessário investigar essa relação por meio de delineamentos experimentais mais controlados, capazes de isolar o efeito do estado hormonal sobre a recuperação autonômica.

2. OBJETIVO

O presente estudo tem como objetivo investigar a influência das fases folicular inicial e lútea média do ciclo menstrual sobre a cinética de recuperação autonômica cardíaca após exercício aeróbio de intensidade moderada, por meio da análise de índices da variabilidade da frequência cardíaca em mulheres eumenorreicas.

3. JUSTIFICATIVA

A investigação das interações entre o ciclo menstrual, o exercício físico e a modulação autonômica cardíaca representam um campo emergente e estratégico na fisiologia do exercício feminino (ELLIOTT-SALE et al., 2021; McNULTY et al., 2020; COSTELLO et al., 2014). A compreensão desses mecanismos possui implicações relevantes não apenas para o desempenho físico, mas também para a saúde cardiovascular e para os processos de recuperação fisiológica após o esforço (COLE et al., 1999; THAYER; YAMAMOTO; BROSSCHOT, 2010; MICHAEL; GRAHAM; DAVIS, 2017). Nesse contexto, as oscilações hormonais características do ciclo menstrual constituem um importante modulador das respostas cardiovasculares e autonômicas ao exercício.

As flutuações cíclicas dos hormônios ovarianos, especialmente estradiol e progesterona, exercem influência significativa sobre o sistema nervoso autônomo, a

função endotelial e o controle hemodinâmico (CARTER; LAWLEY, 2007; MENDELSON; KARAS, 2005; CHARKOUDIAN; HART, 2012). Evidências fisiológicas indicam que o estradiol está associado a efeitos vasodilatadores e a maior modulação parassimpática, favorecendo a reatividade vagal e a sensibilidade barorreflexa (MENDELSON; KARAS, 2005; CARTER; LAWLEY, 2007; CHARKOUDIAN; HART, 2012). Em contraste, a progesterona tem sido relacionada a maior ativação simpática e maior responsividade vasoconstritora, o que pode alterar a dinâmica cardiovascular frente a estressores fisiológicos, como o exercício físico (CARTER; LAWLEY, 2007; CHARKOUDIAN; HART, 2012; SCHMALENBERGER et al., 2019). Essas variações hormonais podem influenciar diretamente a recuperação autonômica após o exercício, um período caracterizado pela retirada progressiva da atividade simpática e pela reativação do tônus parassimpático. A eficiência desse processo é considerada um importante marcador da integridade cardiovascular, estando associada tanto à adaptação fisiológica ao treinamento quanto à estratificação de risco cardiovascular (IMAI et al., 1994; COLE et al., 1999; STANLEY; PEAKE; BUCHHEIT, 2013; MICHAEL; GRAHAM; DAVIS, 2017).

Apesar do crescente interesse científico nas particularidades fisiológicas femininas (JANSE DE JONGE, 2003; COSTELLO et al., 2014; ELLIOTT-SALE et al., 2021; McNULTY et al., 2020; COWLEY et al., 2021), ainda existe uma lacuna importante de evidências consistentes sobre a influência das fases do ciclo menstrual na modulação autonômica, especialmente no período de recuperação pós-exercício. Grande parte dos estudos disponíveis concentra-se na avaliação da variabilidade da frequência cardíaca em repouso ou apresenta elevada heterogeneidade metodológica, incluindo diferenças nos protocolos de exercício, no tempo de monitoramento pós-esforço e nos critérios utilizados para determinar as fases do ciclo menstrual (TENAN et al., 2016; DE JONGE; THOMPSON; HAN, 2019; ELLIOTT-SALE et al., 2021). Diante desse cenário, torna-se necessária a realização de investigações que adotem maior rigor metodológico no controle das fases do ciclo menstrual e na avaliação da resposta autonômica ao exercício. Assim, o presente estudo justifica-se pela necessidade de aprofundar a compreensão da cinética de recuperação autonômica cardíaca após exercício físico em mulheres eumenorreicas, considerando as possíveis influências das oscilações hormonais ao longo do ciclo menstrual.

A elucidação desses mecanismos pode contribuir para o desenvolvimento de estratégias mais individualizadas de prescrição e periodização do treinamento físico sensíveis às variações hormonais, favorecendo a otimização da adaptação fisiológica ao exercício e a promoção da saúde cardiovascular em mulheres. Além disso, compreender a dinâmica da recuperação autonômica no contexto do ciclo menstrual pode auxiliar na identificação precoce de perfis de recuperação cardiovascular menos favoráveis e no desenvolvimento de intervenções preventivas voltadas à saúde da mulher. Dessa forma, o presente estudo contribui tanto para o avanço do conhecimento na fisiologia do exercício feminino quanto para sua aplicação prática nos contextos da educação física, do esporte e da saúde.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 BASES CONCEITUAIS SOBRE MULHERES, EXERCÍCIO FÍSICO E DESEMPENHO ESPORTIVO

A participação feminina na prática de exercícios físicos e no esporte competitivo expandiu-se de forma expressiva nas últimas décadas (MOUNTJOY et al., 2018; BULL et al., 2020; ELLIOTT-SALE et al., 2021). Esse crescimento reflete transformações socioculturais relevantes, maior acesso a políticas de incentivo e o avanço da profissionalização no esporte feminino (COSTELLO et al., 2014; ELLIOTT-SALE et al., 2021). Paralelamente, observa-se uma crescente inserção de mulheres em programas estruturados de atividade física voltados à promoção da saúde, melhora da composição corporal e prevenção de doenças crônicas não transmissíveis, consolidando o exercício físico como componente central das estratégias de saúde pública (PIERCY et al., 2018).

Apesar desse avanço, a compreensão científica das respostas fisiológicas femininas ao exercício ainda permanece limitada quando comparada ao volume de evidências disponíveis para o sexo masculino (COSTELLO et al., 2014; COWLEY et al., 2021). Historicamente, a ciência do esporte e a fisiologia do exercício foram estruturadas a partir de amostras predominantemente masculinas, o que resultou em lacunas importantes no conhecimento sobre as especificidades biológicas das mulheres (WIZEMANN; PARDUE, 2001; JANSE DE JONGE, 2003). Essa assimetria metodológica está associada tanto a fatores sociocientíficos quanto a desafios operacionais relacionados ao controle de variáveis endócrinas femininas, como as flutuações hormonais do ciclo menstrual e o uso de contraceptivos hormonais

(NAKAMURA et al., 2013; FONTOURA et al., 2025). Como consequência, recomendações de carga de treinamento e modelos de periodização são frequentemente baseados em estudos conduzidos com homens ou com amostras mistas com baixa representatividade feminina. Tal prática limita a aplicabilidade dessas diretrizes para mulheres fisicamente ativas e atletas, uma vez que ignora particularidades fisiológicas que podem influenciar o desempenho, a recuperação e a adaptação ao treinamento (McNULTY et al., 2020; ELLIOTT-SALE et al., 2021).

Do ponto de vista fisiológico, as diferenças sexuais manifestam-se em múltiplos níveis, incluindo características morfológicas, metabólicas, neuromusculares e cardiovasculares (TARNOPOLSKY, 2008; HUNTER, 2014; GUYTON; HALL, 2017). Em média, mulheres apresentam menor massa muscular total e menor área de secção transversal das fibras musculares quando comparadas aos homens (MILLER et al., 1993; STARON et al., 2000), além de maior proporção relativa de tecido adiposo (TARNOPOLSKY, 2008). Essas características repercutem diretamente na produção de força absoluta e potência mecânica.

No plano endócrino, a fisiologia feminina é marcada por flutuações hormonais ao longo da vida, incluindo eventos como puberdade, gestação e menopausa (GUYTON; HALL, 2017; SANTORO; RANDOLPH, 2011). Os hormônios ovarianos, especialmente o estradiol e a progesterona, exercem influência relevante sobre diversos sistemas fisiológicos, modulando processos como utilização de substratos energéticos, síntese proteica, função vascular, modulação autonômica e termorregulação (CHARKOUDIAN; STACHENFELD, 2014; ENOKA; DUCHATEAU, 2008). Essas interações podem impactar diretamente o desempenho físico, o risco de lesão e os mecanismos de recuperação pós-exercício.

No âmbito metabólico, evidências indicam que mulheres apresentam maior contribuição relativa da oxidação lipídica e maior preservação do glicogênio muscular durante exercícios de intensidade submáxima, fenômeno associado à ação do estradiol na mobilização e utilização de ácidos graxos (DEVRIES, 2016; TARNOPOLSKY, 2008). Além disso, diferenças nos padrões de recrutamento motor e na perfusão intramuscular podem resultar em perfis distintos de fatigabilidade, particularmente em tarefas isométricas (HICKS et al., 2001). Contudo, a interpretação dessas respostas depende do adequado controle do estado hormonal das participantes, aspecto metodológico frequentemente negligenciado em estudos experimentais (ELLIOTT-SALE et al., 2021). Em atletas mulheres, essas

particularidades fisiológicas podem ser ainda mais relevantes devido ao elevado estresse fisiológico imposto pelo treinamento de alto rendimento (MOUNTJOY et al., 2014; 2018). Nesse contexto, fatores como disponibilidade energética, função menstrual e saúde óssea constituem pilares centrais para a manutenção da saúde e da performance, conforme descrito no modelo de Deficiência Energética Relativa no Esporte (RED-S) (MOUNTJOY et al., 2018).

Apesar dos avanços recentes na pesquisa com mulheres atletas, ainda persistem limitações metodológicas importantes. Entre elas, destacam-se a ausência de confirmação bioquímica do status hormonal das participantes e a classificação imprecisa das fases do ciclo menstrual (JANSE DE JONGE; THOMPSON; HAN, 2019). Adicionalmente, o agrupamento de usuárias de diferentes tipos de contraceptivos hormonais em um único grupo experimental pode comprometer a interpretação dos resultados, uma vez que diferentes formulações hormonais exercem efeitos distintos sobre o metabolismo, o desempenho físico e a regulação fisiológica (ELLIOTT-SALE et al., 2021; SCHMALENBERGER et al., 2021).

Diante desse cenário, torna-se essencial que a ciência do esporte incorpore delineamentos metodológicos mais rigorosos e sensíveis às particularidades da fisiologia feminina. A compreensão aprofundada dessas diferenças biológicas é fundamental não apenas para a otimização do desempenho e da prescrição individualizada do treinamento, mas também para garantir segurança, saúde e sustentabilidade da prática esportiva entre mulheres em diferentes contextos e níveis de desempenho (JOYNER; LUNDBY, 2018).

4.2 FASES DO CICLO MENSTRUAL E PERFIL HORMONAL

O ciclo menstrual constitui um processo fisiológico complexo, regulado por interações altamente coordenadas entre o sistema nervoso central, o sistema endócrino e os órgãos-alvo periféricos, tendo como eixo central o sistema hipotálamo–hipófise–ovariano (HHO). Nesse sistema, o hipotálamo atua como integrador neuroendócrino ao liberar o hormônio liberador de gonadotrofinas (GnRH) de maneira pulsátil. Esse hormônio estimula a hipófise anterior a secretar o hormônio folículo-estimulante (FSH) e o hormônio luteinizante (LH), gonadotrofinas responsáveis pela regulação da função ovariana e pela síntese dos principais hormônios sexuais femininos, o estradiol e a progesterona. Esses hormônios exercem efeitos sistêmicos amplos, modulando diferentes sistemas fisiológicos

(FRITZ; SPEROFF, 2020; SCHMALENBERGER et al., 2020; GUYTON; HALL, 2021).

A atividade do eixo HHO é regulada por mecanismos de retroalimentação negativa e positiva, pelos quais as concentrações circulantes de estradiol e progesterona modulam tanto a liberação hipotalâmica de GnRH quanto a secreção hipofisária de FSH e LH. Esse sistema de regulação assegura a ciclicidade hormonal característica do ciclo menstrual e permite a transição ordenada entre suas diferentes fases. Em mulheres eumenorreicas, o ciclo apresenta duração média de aproximadamente 28 dias, com variações fisiológicas entre 21 e 35 dias, sendo tradicionalmente dividido em três fases: folicular, ovulatória e lútea. Cada uma dessas fases apresenta perfis hormonais específicos e está associada a diferentes repercussões fisiológicas (FRITZ; SPEROFF, 2020).

A fase folicular inicia-se no primeiro dia do sangramento menstrual e caracteriza-se por baixos níveis de estradiol e progesterona, acompanhados por elevação progressiva do FSH, que estimula o recrutamento e a maturação dos folículos ovarianos. À medida que esses folículos se desenvolvem, ocorre aumento gradual da secreção de estradiol, hormônio que exerce efeitos proliferativos sobre o endométrio e desempenha papel relevante na regulação cardiovascular e autonômica. O estradiol está associado à vasodilatação mediada por óxido nítrico, à melhora da função endotelial e ao aumento da sensibilidade barorreflexa, além de favorecer maior modulação parassimpática cardíaca (THAYER; LANE, 2000; YAZAR et al., 2016; TEIXEIRA et al., 2022). Alguns estudos sugerem que, nessa fase, mulheres podem apresentar maior VFC, menor frequência cardíaca de repouso e um perfil autonômico com predominância vagal. Contudo, esses achados ainda não são completamente consistentes na literatura (OKADA et al., 2023; TAGLIAPIETRA et al., 2024).

A fase ovulatória, de curta duração — geralmente entre 24 e 48 horas —, é desencadeada por um aumento abrupto do LH, induzido pelos níveis elevados de estradiol produzidos pelo folículo dominante. Esse pico hormonal culmina na liberação do oócito e na formação do corpo lúteo. Durante esse período, o estrogênio atinge seus valores máximos e pode estar associado a alterações transitórias na hemodinâmica periférica, incluindo aumento do fluxo sanguíneo uterino e discreta elevação da temperatura corporal basal. Evidências indicam que a ovulação pode ser acompanhada por mudanças temporárias no equilíbrio

autonômico, com tendência a maior ativação simpática. Essa resposta possivelmente está relacionada ao aumento da temperatura corporal e às demandas metabólicas associadas ao processo ovulatório, embora os efeitos sobre a VFC ainda apresentem resultados inconsistentes entre os estudos (SCHMALENBERGER et al., 2020; TEIXEIRA et al., 2022).

A fase lútea inicia-se após a ovulação e caracteriza-se pela predominância da progesterona, secretada pelo corpo lúteo, associada a níveis moderados de estradiol. A progesterona exerce efeito termogênico e tem sido associada a maior ativação do sistema nervoso simpático, aumento da frequência cardíaca e redução da modulação vagal, frequentemente refletidos por menores valores de VFC. Além disso, essa fase está relacionada à ativação do sistema renina–angiotensina–aldosterona, o que pode promover retenção hidrossalina leve, aumento da resistência vascular periférica e alterações discretas no débito cardíaco (MAUVAIS-JARVIS et al., 2020; KWISSA et al., 2022; SHANKHWAR et al., 2024). Em algumas mulheres, especialmente aquelas mais sensíveis às oscilações hormonais, essas alterações podem manifestar-se clinicamente por meio de fadiga, maior percepção de esforço, alterações de humor e possível redução do desempenho físico (SIMS et al., 2021).

Na transição para o final do ciclo, a regressão do corpo lúteo provoca uma queda acentuada das concentrações de estradiol e progesterona. Esse declínio hormonal desencadeia vasoconstrição das artérias espirais do endométrio e culmina no início do sangramento menstrual. Paralelamente, ocorrem repercussões no sistema nervoso autônomo, com redução da atividade simpática e retorno progressivo do predomínio vagal característico do início da fase folicular, restabelecendo gradualmente o equilíbrio autonômico basal (FRITZ; SPEROFF, 2020; TAGLIAPIETRA et al., 2024).

De forma integrada, as variações hormonais ao longo do ciclo menstrual influenciam diferentes parâmetros fisiológicos, incluindo temperatura corporal, volume plasmático, pressão arterial, frequência cardíaca e o equilíbrio simpato-vagal. Essas mudanças tornam a fase do ciclo menstrual uma variável biológica relevante em estudos que investigam a modulação autonômica e cardiovascular em mulheres, especialmente em contextos de estresse fisiológico, como o exercício físico e o período de recuperação pós-exercício. Nesse sentido, compreender o funcionamento do eixo HHO e o perfil hormonal característico de cada fase do ciclo

é fundamental para a adequada interpretação das respostas fisiológicas femininas e para o desenvolvimento de estratégias de avaliação, prescrição de exercício e periodização do treinamento que considerem as particularidades do organismo feminino (SCHMALENBERGER et al., 2020; SIMS et al., 2021; FONTOURA et al., 2025).

4.3 EFEITOS DO ESTRADIOL E DA PROGESTERONA SOBRE O SISTEMA CARDIOVASCULAR E AUTONÔMICO

O estradiol (E_2) e a progesterona constituem os principais hormônios ovarianos envolvidos na modulação da função cardiovascular e da modulação autonômica em mulheres (KHALIL, 2007). Esses hormônios exercem efeitos frequentemente complementares ou antagônicos sobre mecanismos fisiológicos como vasodilatação, sensibilidade barorreflexa e modulação da variabilidade da frequência cardíaca (VFC) (ETTINGER et al., 1996; CHARKOUDIAN; STACHENFELD, 2016). A alternância na predominância dessas substâncias ao longo do ciclo menstrual estabelece diferentes contextos fisiológicos, capazes de influenciar o equilíbrio simpato-vagal e as respostas cardiovasculares a diferentes estímulos, incluindo o exercício físico.

O estradiol, principal estrogênio circulante em mulheres em idade reprodutiva, apresenta reconhecidos efeitos vasoprotetores. Sua ação ocorre por meio da ativação dos receptores estrogênicos α e β ($ER\alpha$ e $ER\beta$), amplamente distribuídos em células endoteliais, musculares lisas vasculares e neurônios autonômicos (MAUVAIS-JARVIS et al., 2020). No sistema vascular, o estradiol estimula a expressão e a atividade da óxido nítrico sintase endotelial (eNOS), aumentando a biodisponibilidade de óxido nítrico (NO). Esse mecanismo promove vasodilatação dependente do endotélio, redução da resistência vascular periférica e melhora da complacência arterial (JAMES et al., 2025). Como consequência, observa-se maior eficiência hemodinâmica e melhor perfusão tecidual, além de efeitos protetores contra disfunção endotelial e processos aterogênicos (DANTAS et al., 2023).

Em contraste, a progesterona — cuja concentração é mais elevada durante a fase lútea — apresenta efeitos cardiovasculares distintos. Embora possa exercer ação relaxante direta sobre a musculatura lisa vascular, sua atuação também está associada à ativação do sistema renina–angiotensina–aldosterona. Esse processo favorece retenção hidrossalina, expansão do volume plasmático e aumento da

resistência vascular periférica (KWISSA et al., 2022). Dessa forma, em determinados contextos fisiológicos, a predominância da progesterona pode atenuar parte dos efeitos vasodilatadores associados ao estradiol.

Além dos efeitos vasculares, esses hormônios influenciam diretamente o controle barorreflexo, mecanismo essencial para a estabilidade da pressão arterial e para o ajuste rápido da frequência cardíaca diante de alterações hemodinâmicas. Evidências indicam que níveis elevados de estradiol estão associados ao aumento da sensibilidade barorreflexa, favorecendo maior responsividade vagal e melhor integração dos reflexos cardiovasculares (THAYER; LANE, 2000). Essa condição contribui para maior flexibilidade autonômica e maior capacidade de adaptação frente a desafios fisiológicos. Por outro lado, a progesterona tem sido relacionada à redução da sensibilidade barorreflexa e ao aumento do tônus simpático. Esse padrão pode comprometer parcialmente a eficiência dos ajustes cardiovasculares rápidos, particularmente em situações de estresse fisiológico, como durante o exercício ou no período de recuperação pós-esforço (SHANKHWAR et al., 2024).

Essas influências hormonais refletem-se diretamente na modulação autonômica cardíaca, frequentemente avaliada por meio da VFC. Fases do ciclo menstrual caracterizadas por maior concentração de estradiol — como a fase folicular tardia e o período ovulatório — têm sido associadas a valores mais elevados de índices vagais da VFC, incluindo SDNN, RMSSD e o componente de alta frequência (HF), além de menores valores da razão LF/HF. Esse perfil sugere predominância parassimpática e maior flexibilidade autonômica (TAGLIAPIETRA et al., 2024; MITTAL et al., 2024). Em contraste, a predominância da progesterona durante a fase lútea tem sido associada à redução desses índices vagais e ao aumento da frequência cardíaca basal, indicando maior ativação simpática relativa (SHANKHWAR et al., 2024).

No sistema nervoso central, a progesterona e seus metabólitos, especialmente a alopregnanolona, também desempenham papel relevante na modulação neuroautonômica. Esses compostos atuam sobre receptores GABA-A, produzindo efeitos ansiolíticos e sedativos, mas também influenciando circuitos neurais envolvidos na regulação autonômica. Dependendo do contexto fisiológico e da sensibilidade individual, essa ação pode atenuar ou amplificar respostas adrenérgicas, contribuindo para a variabilidade interindividual observada nas respostas autonômicas ao longo da fase lútea (SIMS et al., 2021).

De forma integrada, a interação entre estradiol e progesterona determina oscilações dinâmicas na regulação autonômica e cardiovascular ao longo do ciclo menstrual. Enquanto o estradiol tende a favorecer vasodilatação, maior sensibilidade barorreflexa e predominância vagal, a progesterona está frequentemente associada a maior ativação simpática e retenção hidrossalina. Essas variações tornam-se particularmente relevantes em contextos de estresse cardiovascular, como durante o exercício físico, nos quais a eficiência da recuperação autonômica pode ser influenciada pelo estado hormonal (COLE et al., 1999; ESER et al., 2016; DEWAR et al., 2023; HYRYLÄ et al., 2025).

4.4 A VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA (VFC) COMO MARCADOR DA MODULAÇÃO AUTONÔMICA

A variabilidade da frequência cardíaca (VFC) é amplamente reconhecida na literatura científica como um marcador não invasivo da modulação autonômica cardíaca, refletindo a interação dinâmica entre os ramos simpático e parassimpático do sistema nervoso autônomo na regulação do nodo sinoatrial. Diferentemente da frequência cardíaca média, que representa apenas o número de batimentos por unidade de tempo, a VFC quantifica as oscilações batimento a batimento dos intervalos RR. Essa característica permite uma avaliação mais sensível da capacidade adaptativa do sistema cardiovascular frente a estímulos fisiológicos, ambientais e emocionais (TASK FORCE, 1996; THAYER; LANE, 2000; SHAFFER; GINSBERG, 2017).

Do ponto de vista fisiológico, valores mais elevados de VFC estão associados a maior flexibilidade autonômica e maior capacidade de ajuste do sistema cardiovascular às demandas impostas ao organismo. Em contrapartida, reduções na VFC podem indicar menor predominância parassimpática, maior ativação simpática ou redução da complexidade do sistema de regulação autonômica. Esse padrão tem sido frequentemente observado em situações de estresse fisiológico, fadiga acumulada, sobrecarga de treinamento e em diversas condições clínicas associadas à disfunção cardiovascular (GOLDENBERGER et al., 2019). A análise da VFC pode ser realizada por diferentes abordagens, sendo as mais utilizadas aquelas baseadas nos domínios do tempo e da frequência. No domínio do tempo, o desvio-padrão de todos os intervalos RR normais (SDNN) representa um índice global da variabilidade da frequência cardíaca, refletindo a influência combinada dos ramos simpático e

parassimpático. O índice RMSSD, e especialmente seu logaritmo natural (LnRMSSD), quantifica variações de curto prazo entre intervalos RR consecutivos e é amplamente reconhecido como um marcador sensível da modulação vagal cardíaca. Por essa razão, o LnRMSSD tem sido utilizado em estudos que investigam respostas autonômicas agudas ao exercício, processos de recuperação pós-esforço e monitoramento da carga fisiológica em contextos esportivos (STANLEY et al., 2013; MICHAEL et al., 2017).

No domínio da frequência, o componente de alta frequência (HF) está predominantemente associado à modulação parassimpática relacionada ao ritmo respiratório, refletindo a influência vagal sobre o coração. Já o componente de baixa frequência (LF) representa uma combinação de influências simpáticas e parassimpáticas e apresenta forte relação com a atividade barorreflexa. Tradicionalmente, a razão LF/HF foi interpretada como um indicador do balanço simpato-vagal. Contudo, evidências mais recentes questionam essa interpretação simplificada e recomendam cautela na utilização isolada desse índice, enfatizando a necessidade de uma análise integrada dos diferentes parâmetros da VFC (BILLMAN, 2013; GOLDENBERGER et al., 2019). A mensuração da VFC exige rigor metodológico, uma vez que seus índices são altamente sensíveis às condições de registro. Fatores como duração da coleta, posição corporal, padrão respiratório, ambiente de avaliação e qualidade do sinal eletrocardiográfico devem ser cuidadosamente padronizados para garantir validade e reprodutibilidade das medidas (TASK FORCE, 1996; MICHAEL et al., 2017). Registros de curta duração, frequentemente empregados em contextos experimentais e clínicos, são considerados adequados para a análise de índices vagais, como o LnRMSSD e o HF, especialmente quando realizados sob condições controladas.

Além dos aspectos técnicos, diversos fatores fisiológicos e comportamentais podem influenciar os índices de VFC. Entre eles destacam-se qualidade do sono, estresse psicológico, ingestão de cafeína e álcool, nível de atividade física prévia, estado de hidratação e ritmo circadiano. Características individuais, como idade, sexo, nível de condicionamento físico e estado hormonal, também exercem influência significativa sobre a modulação autonômica cardíaca (PORTALUPPI et al., 2012; KOENIG; THAYER, 2016). Dessa forma, o controle rigoroso dessas variáveis é essencial para assegurar interpretações fisiológicas confiáveis, especialmente em

estudos que investigam populações específicas, como mulheres avaliadas em diferentes fases do ciclo menstrual.

Nesse contexto, a utilização da VFC como ferramenta de investigação da modulação autonômica requer delineamentos experimentais cuidadosamente controlados, capazes de minimizar fatores de confusão e maximizar a sensibilidade da medida. Quando adequadamente aplicada, a análise da VFC permite captar de forma integrada as adaptações autonômicas cardíacas em repouso, durante o exercício e ao longo do período de recuperação. Dessa forma, constitui um instrumento valioso para a investigação da fisiologia cardiovascular feminina e para a compreensão das interações entre exercício físico, estado hormonal e controle autonômico.

4.5 O EXERCÍCIO FÍSICO E SUA INFLUÊNCIA NA MODULAÇÃO AUTONÔMICA

O exercício físico constitui um dos estímulos fisiológicos mais potentes para o sistema cardiovascular, desencadeando respostas integradas que envolvem os sistemas nervoso, cardiovascular, respiratório e metabólico. Essas respostas têm como objetivo principal assegurar o fornecimento adequado de oxigênio e substratos energéticos aos músculos ativos, além de favorecer a remoção eficiente de metabólitos gerados durante o esforço. No âmbito da regulação autonômica cardíaca, o exercício promove ajustes rápidos e dinâmicos na interação entre os ramos simpático e parassimpático do sistema nervoso autônomo, evidenciando a elevada capacidade adaptativa desse sistema frente a demandas fisiológicas transitórias (IMAI et al., 1994; MICHAEL et al., 2017).

No início do exercício, observa-se uma retirada progressiva da atividade parassimpática vagal, responsável pelo controle basal da frequência cardíaca em repouso. Esse mecanismo representa o principal determinante do aumento inicial da frequência cardíaca, especialmente durante exercícios de baixa a moderada intensidade. À medida que a intensidade do esforço aumenta, ocorre ativação progressiva do sistema nervoso simpático, acompanhada pela liberação de catecolaminas, aumento da contratilidade miocárdica e ajustes na resistência vascular periférica em territórios não ativos. Esses processos contribuem para a redistribuição eficiente do fluxo sanguíneo e para a manutenção da perfusão adequada dos músculos em atividade (IMAI et al., 1994; BUCHHEIT; LAURSEN, 2013). Como resultado desse ajuste autonômico integrado, observa-se aumento

gradual da frequência cardíaca, da pressão arterial sistólica e do débito cardíaco, parâmetros diretamente relacionados à intensidade, duração e tipo de exercício realizado. Em exercícios aeróbios contínuos de intensidade moderada, como aqueles frequentemente empregados em protocolos experimentais e programas de treinamento para saúde, essas respostas tendem a ocorrer de forma progressiva e relativamente estável, favorecendo a manutenção da homeostase cardiovascular.

Em protocolos de maior intensidade ou de natureza intermitente, as demandas metabólicas e hemodinâmicas são mais elevadas, o que se associa a maior ativação simpática e redução transitória da modulação vagal durante o esforço. Contudo, essas respostas representam adaptações fisiológicas esperadas do sistema cardiovascular frente a estímulos de maior exigência e, quando o exercício é devidamente prescrito e monitorado, não configuram efeitos deletérios ao sistema autonômico. Pelo contrário, estímulos dessa natureza podem contribuir para adaptações cardiovasculares benéficas e para o aprimoramento da capacidade funcional do organismo (STANLEY et al., 2013; MICHAEL et al., 2017).

Além das características do exercício, a magnitude das respostas autonômicas também pode ser influenciada por fatores individuais, como nível de aptidão cardiorrespiratória, idade, sexo e estado hormonal. Esses fatores modulam tanto as respostas agudas ao exercício quanto os mecanismos de recuperação subsequentes, influenciando a dinâmica da modulação autonômica cardíaca. Nesse contexto, o exercício físico pode ser compreendido simultaneamente como um estressor fisiológico transitório e como um importante estímulo adaptativo para o sistema cardiovascular. A exposição regular a esse tipo de estímulo promove adaptações funcionais que contribuem para maior eficiência da regulação autonômica e para melhor capacidade de resposta frente a diferentes desafios fisiológicos. Dessa forma, compreender os mecanismos que regulam a modulação autonômica durante e após o exercício torna-se essencial para interpretar adequadamente a dinâmica cardiovascular em diferentes contextos fisiológicos, incluindo aqueles associados às variações hormonais do ciclo menstrual.

4.5.1 Efeitos agudos do exercício sobre a modulação autonômica

Do ponto de vista agudo, o exercício físico provoca uma reorganização imediata do equilíbrio simpato-vagal, refletindo a capacidade adaptativa do sistema nervoso autônomo frente às demandas metabólicas do esforço. Nos estágios iniciais

da atividade, o aumento da frequência cardíaca ocorre predominantemente pela retirada da atividade vagal, responsável pelo controle basal da frequência cardíaca em repouso. À medida que a intensidade do exercício se eleva, observa-se contribuição progressiva da ativação simpática, que passa a desempenhar papel central na manutenção do débito cardíaco e na redistribuição do fluxo sanguíneo para os músculos ativos.

Após o término do exercício, inicia-se o processo de recuperação autonômica, caracterizado pela reativação gradual do tônus parassimpático e pela retirada progressiva da atividade simpática. Esse processo é fundamental para o restabelecimento da homeostase cardiovascular e para o retorno das variáveis hemodinâmicas aos níveis de repouso (IMAI et al., 1994; COLE et al., 1999). A velocidade com que ocorre essa recuperação tem sido amplamente reconhecida como um marcador funcional da integridade do sistema nervoso autônomo. Uma reativação vagal mais rápida está associada a melhor aptidão cardiorrespiratória, maior eficiência dos mecanismos regulatórios e menor risco cardiovascular. Em contraste, uma recuperação mais lenta pode indicar maior estresse autonômico residual ou menor eficiência na regulação cardiovascular após o esforço (COLE et al., 1999).

Nesse contexto, a variabilidade da frequência cardíaca tem sido amplamente utilizada para investigar a dinâmica autonômica durante o período de recuperação pós-exercício. Índices sensíveis à modulação vagal, como o LnRMSSD e o componente de alta frequência (HF), permitem captar de forma precisa a reativação parassimpática após o esforço, sendo frequentemente empregados em estudos que avaliam respostas autonômicas agudas ao exercício. A intensidade do exercício desempenha papel determinante no comportamento da VFC durante o período de recuperação. Exercícios realizados em intensidade moderada tendem a favorecer uma recuperação vagal mais rápida e relativamente homogênea. Por outro lado, esforços de maior intensidade ou de caráter máximo estão associados a maior retirada vagal durante o exercício e a maior ativação simpática, resultando em recuperação autonômica mais lenta, que pode persistir por várias horas após o término da atividade (BUCHHEIT; LAURSEN, 2013; STANLEY et al., 2013; DEWAR et al., 2023).

Dessa forma, a interpretação da recuperação autonômica pós-exercício deve considerar cuidadosamente a carga fisiológica imposta pelo esforço, bem como as

características individuais dos participantes e as condições experimentais adotadas. A análise integrada desses fatores é essencial para compreender adequadamente a dinâmica da modulação autonômica após o exercício.

4.5.2 Efeitos crônicos do exercício sobre a modulação autonômica

Do ponto de vista crônico, a prática regular de exercício físico induz adaptações favoráveis no sistema nervoso autônomo, caracterizadas por aumento do tônus vagal em repouso, redução da atividade simpática basal e maior variabilidade da frequência cardíaca. Essas adaptações refletem maior eficiência do controle autonômico cardíaco e maior capacidade de regulação do sistema cardiovascular. De maneira geral, indivíduos fisicamente treinados apresentam valores mais elevados de VFC em repouso e recuperação autonômica mais rápida após o exercício, evidenciando maior capacidade adaptativa frente às demandas fisiológicas impostas pelo esforço (AUBERT; SEPS; BECKERS, 2003; CARTER et al., 2003).

As adaptações autonômicas decorrentes do treinamento físico também estão associadas a melhorias na sensibilidade barorreflexa, na função endotelial e na integração central dos mecanismos de controle cardiovascular. Esses efeitos contribuem para maior estabilidade hemodinâmica e melhor capacidade de ajuste frente a diferentes estímulos fisiológicos. Além disso, o exercício físico regular tem sido consistentemente relacionado à redução do risco cardiovascular, ao aprimoramento do desempenho físico e ao aumento da resiliência do organismo diante de estressores fisiológicos e ambientais (GOLDENBERGER et al., 2019).

Entretanto, a magnitude dessas adaptações depende de múltiplos fatores, incluindo o tipo de exercício realizado, a intensidade e o volume do treinamento, bem como características individuais dos praticantes. Variáveis como idade, sexo, nível de condicionamento físico e estado hormonal podem influenciar significativamente a resposta autonômica ao treinamento. No caso das mulheres, fatores específicos da fisiologia feminina, particularmente as oscilações hormonais associadas ao ciclo menstrual, podem atuar como moduladores adicionais da regulação autonômica. Essas variações hormonais podem influenciar tanto as respostas cardiovasculares agudas ao exercício quanto a dinâmica da recuperação autonômica pós-esforço. Contudo, os achados da literatura ainda apresentam resultados heterogêneos, refletindo diferenças metodológicas entre os estudos e ressaltando a necessidade de

investigações mais controladas nesse campo (SIMS et al., 2021; FONTOURA et al., 2025).

4.5.3 Exercício, VFC e equilíbrio simpato-vagal

O equilíbrio simpato-vagal constitui um elemento central da regulação cardiovascular, sendo continuamente ajustado em resposta às demandas metabólicas e hemodinâmicas impostas pelo exercício físico. Nesse contexto, a variabilidade da frequência cardíaca (VFC) destaca-se como uma ferramenta sensível para avaliar a modulação autonômica cardíaca, permitindo identificar tanto a magnitude quanto a dinâmica das respostas do sistema nervoso autônomo frente a diferentes estímulos fisiológicos. Durante o exercício, observa-se redução acentuada da VFC, particularmente dos índices associados à modulação vagal, refletindo a retirada parassimpática e o aumento relativo da atividade simpática necessários para sustentar as demandas cardiovasculares do esforço. Após a interrupção da atividade física, inicia-se o processo de recuperação autonômica, caracterizado pela reativação progressiva do tônus vagal e pela redução da influência simpática, resultando no restabelecimento gradual dos índices de VFC (MICHAEL et al., 2017).

Nesse sentido, a análise integrada da VFC em diferentes momentos — antes, durante e após o exercício — fornece informações relevantes sobre a integridade dos mecanismos de controle autonômico e sobre a capacidade adaptativa do sistema cardiovascular frente a estressores fisiológicos. Entre esses momentos, o período de recuperação pós-exercício assume particular importância, pois representa uma fase em que os mecanismos regulatórios são ativados para restabelecer a homeostase cardiovascular. Considerando que o exercício físico promove uma perturbação transitória no equilíbrio autonômico, a fase de recuperação constitui uma janela fisiológica relevante para investigar fatores moduladores adicionais da resposta autonômica. Entre esses fatores, destacam-se as oscilações hormonais associadas ao ciclo menstrual, que podem influenciar a dinâmica da reativação vagal e a velocidade de recuperação autonômica.

Dessa forma, compreender os efeitos agudos e crônicos do exercício físico sobre a modulação autonômica cardíaca é de grande importância para interpretar adequadamente as respostas observadas no período pós-exercício. Essa compreensão também permite contextualizar a influência de fatores biológicos específicos, como o ciclo menstrual, na regulação cardiovascular feminina.

4.6 INTERAÇÕES ENTRE O CICLO MENSTRUAL, O EXERCÍCIO FÍSICO E A RECUPERAÇÃO AUTONÔMICA

A interação entre o ciclo menstrual, o exercício físico e a recuperação autonômica cardíaca têm despertado crescente interesse científico nas últimas décadas, especialmente diante do reconhecimento de que as flutuações hormonais cíclicas exercem influência relevante sobre os sistemas cardiovascular e nervoso autônomo. Apesar desse avanço, a literatura ainda apresenta resultados heterogêneos — e, em alguns casos, contraditórios — quanto à magnitude e à direção dessas influências, particularmente durante o período de recuperação pós-exercício, fase caracterizada por intensa reorganização autonômica e hemodinâmica.

Do ponto de vista fisiológico, a recuperação autonômica após o exercício reflete o restabelecimento progressivo do equilíbrio simpato-vagal. Nesse processo, a reativação vagal precoce tem sido amplamente reconhecida como um marcador sensível da integridade do controle cardiovascular e do nível de aptidão cardiorrespiratória (COLE et al., 1999; BUCHHEIT; LAURSEN, 2013). Nesse contexto, existe plausibilidade biológica para que as oscilações hormonais do ciclo menstrual influenciem essa resposta, uma vez que estradiol e progesterona exercem efeitos distintos — e, em muitos aspectos, opostos — sobre mecanismos como vasodilatação, sensibilidade barorreflexa e modulação autonômica cardíaca (SCHMALENBERGER et al., 2020; MAUVAIS-JARVIS et al., 2020).

Entretanto, os achados empíricos disponíveis permanecem inconsistentes. Alguns estudos sugerem maior predominância vagal e recuperação autonômica mais eficiente em fases caracterizadas por níveis elevados de estradiol, como a fase folicular tardia ou o período ovulatório. Em contraste, outras investigações relatam maior ativação simpática e recuperação vagal mais lenta durante a fase lútea, associada ao aumento da progesterona (TEIXEIRA et al., 2022; TAGLIAPIETRA et al., 2024; SHANKHWAR et al., 2024). Por outro lado, estudos conduzidos com protocolos de exercício aeróbio de intensidade moderada frequentemente não identificam diferenças significativas entre as fases do ciclo menstrual. Esses achados sugerem que os mecanismos homeostáticos de regulação cardiovascular podem compensar as oscilações hormonais quando o estímulo fisiológico imposto

pelo exercício é relativamente moderado (ESER et al., 2016; DEWAR et al., 2023; FONTOURA et al., 2025).

Parte dessas divergências pode ser atribuída a limitações metodológicas recorrentes na literatura. Entre os principais fatores destacam-se: (i) a heterogeneidade dos protocolos de exercício, com diferenças marcantes em intensidade, duração e modalidade; (ii) a diversidade das janelas temporais utilizadas para avaliar a recuperação autonômica, muitas vezes restritas aos primeiros minutos pós-exercício; (iii) o emprego de diferentes índices e métodos de análise da variabilidade da frequência cardíaca; (iv) tamanhos amostrais reduzidos; e (v) ausência de controle rigoroso ou de confirmação bioquímica das fases do ciclo menstrual (SIMS et al., 2021; SCHMALENBERGER et al., 2020). Além disso, grande parte dos estudos concentra-se na avaliação da modulação autonômica em repouso, negligenciando o período de recuperação pós-exercício. Esse período representa um estado fisiológico altamente dinâmico e particularmente sensível para a identificação de alterações autonômicas sutis. Evidências sugerem que a influência hormonal tende a ser mais evidente nos primeiros minutos de recuperação ou em condições de exercício de maior intensidade, nas quais a retirada simpática ocorre de forma mais gradual e a reativação vagal é relativamente retardada (BUCHHEIT, 2014; SHANKHWAR et al., 2024). Em protocolos de intensidade moderada, especialmente quando a recuperação é monitorada por períodos mais prolongados, essas diferenças iniciais podem ser atenuadas ao longo do tempo.

Diante desse cenário, torna-se evidente a necessidade de delineamentos experimentais que considerem de forma integrada o controle das fases do ciclo menstrual, a padronização da intensidade do exercício e a avaliação detalhada da recuperação autonômica em múltiplos pontos temporais. Com base nessas lacunas, o presente estudo foi delineado para investigar mulheres eumenorreicas submetidas a um protocolo de exercício aeróbio de intensidade moderada, com monitoramento da recuperação autonômica ao longo de um período prolongado e controle rigoroso de fatores externos. Além disso, foram empregados modelos estatísticos robustos, permitindo uma análise mais precisa da dinâmica autonômica pós-exercício em diferentes fases do ciclo menstrual. Essa abordagem metodológica possibilita reduzir potenciais fontes de viés e contribuir para uma compreensão mais refinada da interação entre estado hormonal e regulação autonômica cardíaca após o exercício. Ao integrar variáveis temporais, hormonais e fisiológicas, o presente delineamento

busca esclarecer inconsistências previamente observadas na literatura e ampliar o entendimento dos mecanismos regulatórios que sustentam a estabilidade cardiovascular feminina diante das oscilações hormonais.

Em síntese, embora exista base fisiológica plausível para a influência do ciclo menstrual sobre a recuperação autonômica pós-exercício, as evidências disponíveis indicam que essa relação depende fortemente do contexto experimental, particularmente da intensidade do exercício e da janela temporal considerada na análise. Nesse sentido, a presente investigação contribui ao demonstrar que, em condições de exercício aeróbio moderado, a recuperação autonômica tende a ser predominantemente governada pelo efeito do tempo e pelos mecanismos homeostáticos de autorregulação cardiovascular, enquanto as modulações hormonais se manifestam de forma mais sutil e dependente do contexto fisiológico.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 CÁLCULO AMOSTRAL

O cálculo do tamanho amostral foi realizado utilizando o software G*Power (versão 3.1). Para essa estimativa, considerou-se como desfecho primário a variação do índice lnHF da variabilidade da frequência cardíaca, parâmetro amplamente utilizado como marcador da modulação parassimpática cardíaca. O procedimento foi baseado em uma ANOVA de medidas repetidas, contemplando interações intra e entre condições experimentais.

Para o cálculo foram adotados os seguintes parâmetros: tamanho de efeito (f) de 0,3077, poder estatístico ($1-\beta$) de 80% e nível de significância (α) de 5%. O tamanho de efeito foi estimado com base nos resultados reportados por Nakamura et al. (2013), que investigaram alterações na modulação autonômica cardíaca em mulheres por meio do índice lnHF da variabilidade da frequência cardíaca.

Com base nesses parâmetros, o cálculo indicou a necessidade de uma amostra mínima de 20 participantes, distribuídas entre as condições experimentais do estudo. Considerando a possibilidade de perdas amostrais decorrentes de desistências, exclusão de participantes ou registros fisiológicos inadequados, foi previsto o recrutamento de um número ligeiramente superior de voluntárias elegíveis, a fim de garantir a manutenção do poder estatístico e a robustez das análises.

5.2 AMOSTRA

A divulgação da pesquisa foi realizada por meio de anúncios em redes sociais e mensagens via WhatsApp. Foram convidadas a participar mulheres saudáveis, residentes na cidade de Juiz de Fora (MG), maiores de 18 anos, com ciclos menstruais regulares entre 25 e 34 dias (BAKOS *et al.*, 1994; HARLOW, 2018) e que não estivessem grávidas, nem em período de lactação. Não foram incluídas na amostra, mulheres que faziam uso de anticoncepcionais hormonais, terapia de reposição hormonal ou que fossem fumantes. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos do Hospital Universitário da Universidade Federal de Juiz de Fora (HU/UFJF), sob o número do parecer 6.955.708 e CAAE: 80320324.9.0000.5133. Todas as participantes foram informadas detalhadamente sobre os objetivos e procedimentos da pesquisa e, após concordância, assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), em conformidade com as diretrizes éticas nacionais.

5.3 PROTOCOLO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental adotado neste estudo foi do tipo crossover, no qual cada participante foi avaliada em duas condições experimentais correspondentes a diferentes fases do ciclo menstrual. Antes da realização das avaliações laboratoriais, foi conduzido um período de monitoramento prévio do ciclo menstrual durante três meses, com o objetivo de confirmar a regularidade do ciclo e permitir a adequada identificação das fases hormonais de interesse.

As participantes compareceram ao laboratório em duas visitas experimentais, realizadas em momentos distintos do ciclo menstrual:

(1) fase folicular inicial, correspondente aos dias 1 a 5 após o início do sangramento menstrual, caracterizada por baixas concentrações de estradiol e progesterona; e

(2) fase lútea média, compreendida entre os dias 22 e 26 do ciclo, período associado a elevação das concentrações de progesterona e níveis moderados de estradiol. Esse delineamento permitiu comparar as respostas autonômicas e hemodinâmicas ao exercício físico em diferentes contextos hormonais, mantendo cada participante como seu próprio controle experimental.

Todas as avaliações foram realizadas no período da manhã, entre 8h e 12h, a fim de minimizar possíveis interferências dos ritmos circadianos sobre as variáveis

cardiovasculares e autonômicas (PORTALUPPI et al., 2012). Os experimentos foram conduzidos na Unidade de Investigação Cardiovascular e Fisiologia do Exercício do Hospital Universitário da Universidade Federal de Juiz de Fora (HU/UFJF), em ambiente com condições controladas de temperatura (22–24 °C), iluminação e ruído.

Antes de cada sessão experimental, as participantes receberam orientações padronizadas para reduzir potenciais fatores de confusão fisiológica. Assim, foram instruídas a evitar a ingestão de cafeína, bebidas alcoólicas e exercícios físicos vigorosos nas 24 horas que antecederam a avaliação (CORTI et al., 2002; RAUH et al., 2006; QUINTANA et al., 2013; PLEWS et al., 2013). Além disso, deveriam realizar uma refeição leve com pelo menos duas horas de antecedência e manter padrão alimentar semelhante entre as duas visitas experimentais.

Ao chegar ao laboratório, aproximadamente 20 minutos antes do início das coletas, as participantes receberam explicações detalhadas sobre os procedimentos experimentais e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Em seguida, foi iniciada a fase basal (pré-exercício). As participantes permaneceram em decúbito dorsal por 10 minutos em repouso, em ambiente silencioso e climatizado, para estabilização das variáveis hemodinâmicas. Após esse período de estabilização, foram registrados 10 minutos de sinais eletrocardiográficos contínuos, utilizando um sistema de eletrocardiograma de alta resolução, para posterior análise da variabilidade da frequência cardíaca (VFC). Esse período basal permitiu caracterizar o estado autonômico em repouso antes da realização do exercício.

Concluídas as medições em repouso, as participantes foram conduzidas ao cicloergômetro (Kikos®) para a realização de uma sessão de exercício aeróbio com duração total de 60 minutos. O protocolo foi estruturado em três fases distintas:

- Aquecimento: 5 minutos a intensidade inferior a 65% da frequência cardíaca de reserva (FCR);
- Fase principal: 50 minutos de exercício contínuo em intensidade moderada, correspondente a 65–75% da FCR;
- Recuperação ativa: 5 minutos a intensidade inferior a 65% da FCR.

Durante todo o exercício, a frequência cardíaca foi monitorada continuamente por meio de frequencímetro Polar® V800, enquanto a pressão arterial foi aferida a cada 10 minutos, utilizando esfigmomanômetro aneroide (Welch Allyn®) e estetoscópio (Premium®). Após o término do exercício, iniciou-se o período de

recuperação pós-esforço, com duração total de 60 minutos, durante o qual as participantes permaneceram em repouso para avaliação da recuperação autonômica e hemodinâmica. Durante esse período, os sinais eletrocardiográficos foram continuamente registrados para análise da variabilidade da frequência cardíaca (VFC).

Para fins analíticos, o período de recuperação foi dividido em cinco janelas temporais específicas, permitindo avaliar a dinâmica da reativação autonômica ao longo do tempo. As análises da VFC foram realizadas nos seguintes intervalos:

Rec1: 5–10 minutos após o término do exercício

Rec2: 15–20 minutos

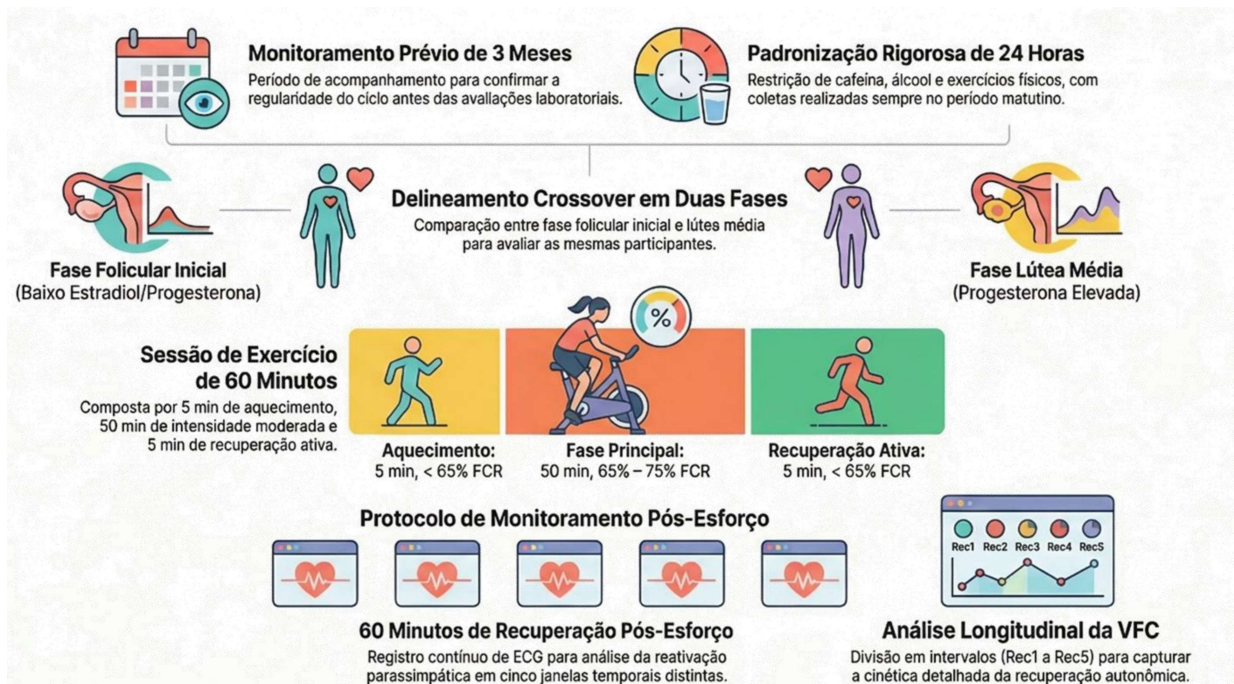
Rec3: 25–30 minutos

Rec4: 35–40 minutos

Rec5: 45–50 minutos

Essa estratégia permitiu caracterizar com maior precisão a cinética da recuperação autonômica, particularmente a reativação parassimpática e a retirada simpática ao longo do período pós-exercício. A divisão do período de recuperação em múltiplos intervalos temporais possibilitaram analisar a evolução das respostas autonômicas de forma longitudinal, oferecendo uma visão mais detalhada da dinâmica de recuperação cardiovascular em diferentes fases do ciclo menstrual.

Figura 1 – Delineamento do protocolo experimental adotado no estudo, composto por duas visitas ao laboratório, realizadas nas diferentes fases do ciclo menstrual das participantes.



Fonte: NotebookLM

5.4 MEDIDAS E PROCEDIMENTOS

5.4.1 Anamnese

Quando uma participante demonstrava interesse em participar da pesquisa, a pesquisadora responsável realizava uma entrevista inicial de triagem, com o objetivo de obter informações detalhadas sobre o histórico menstrual e verificar os critérios de elegibilidade do estudo. Nessa etapa, foram coletados dados referentes à duração média dos ciclos menstruais, regularidade do ciclo, idade da menarca, data das últimas menstruações e presença de sintomas menstruais. Também foi investigado se as participantes utilizavam aplicativos de monitoramento do ciclo menstrual (como Clue®, Flo® ou MyCalendar®), a fim de auxiliar na confirmação da regularidade dos ciclos anteriores e na estimativa das fases do ciclo menstrual. Com base nessas informações, foi possível determinar o padrão médio de duração e periodicidade dos ciclos menstruais nos três meses precedentes, permitindo o planejamento individualizado das coletas experimentais de acordo com as fases do ciclo menstrual de cada participante. Após essa etapa de triagem, foi agendada a primeira visita ao laboratório.

As visitas ao laboratório foram realizadas na Unidade de Investigação Cardiovascular e Fisiologia do Exercício do Hospital Universitário da Universidade Federal de Juiz de Fora (HU/UFJF), no período da manhã, entre 8h e 12h. Na primeira visita, foi conduzida uma anamnese estruturada, na qual foram coletadas informações referentes aos dados pessoais, histórico de saúde e hábitos de vida das participantes. Foram investigados aspectos relacionados ao histórico clínico geral, incluindo presença prévia de hipertensão arterial, diabetes mellitus tipo 2, diabetes gestacional, bem como histórico familiar dessas condições. Também foram coletadas informações sobre histórico reprodutivo, incluindo número de gestações e presença de sintomas físicos e psicológicos associados ao ciclo menstrual.

Adicionalmente, o nível habitual de atividade física das participantes foi investigado por meio do Questionário Internacional de Atividade Física – versão curta (IPAQ), instrumento amplamente utilizado para estimar a frequência e a duração de atividades físicas leves, moderadas e vigorosas realizadas na última semana. Essa avaliação foi conduzida em ambas as visitas realizadas no Hospital Universitário da Universidade Federal de Juiz de Fora (HU/UFJF), a fim de garantir a caracterização consistente do nível de atividade física habitual das participantes ao longo do período experimental.

Nas mesmas visitas, também foram realizadas medidas antropométricas, incluindo massa corporal, estatura e cálculo do índice de massa corporal (IMC). A composição corporal foi estimada por meio da mensuração de dobras cutâneas (tríceps, subescapular, suprailíaca, abdominal e coxa), utilizadas para estimativa do percentual de gordura corporal. Todas as avaliações antropométricas foram realizadas pela mesma pesquisadora, previamente treinada, com o objetivo de garantir a padronização dos procedimentos e reduzir possíveis erros de mensuração. Esses procedimentos permitiram caracterizar o perfil antropométrico, o nível de atividade física habitual e o estado geral de saúde das participantes, contribuindo para a adequada descrição da amostra antes da realização das avaliações experimentais.

5.4.2 Avaliação Antropométrica

Durante cada visita experimental, foram realizadas as avaliações antropométricas das participantes. Para padronização das mensurações, as voluntárias foram orientadas a comparecer ao laboratório vestindo roupas leves e

confortáveis, de modo a minimizar possíveis interferências nas medidas corporais (SHAFFER et al., 2017). A massa corporal foi mensurada por meio de balança eletrônica digital Welmy®, com resolução de 0,1 kg, enquanto a estatura foi aferida utilizando estadiômetro fixo com escala de 0,5 cm. A partir dessas medidas, foi calculado o índice de massa corporal (IMC), obtido pela razão entre a massa corporal (kg) e o quadrado da estatura (m²).

A composição corporal foi estimada por meio da mensuração de cinco dobras cutâneas (tríceps, subescapular, suprailíaca, abdominal e coxa), avaliadas sempre no hemisfério direito, utilizando adipômetro científico Cescorf® (Cescorf Equipamentos Ltda., Brasil). Para cada ponto anatômico foram realizadas três mensurações não consecutivas, sendo utilizada a média dos valores obtidos para as análises subsequentes (NAVES et al., 2018). Todas as medidas antropométricas foram conduzidas seguindo os procedimentos técnicos e metodológicos recomendados pelo American College of Sports Medicine (ACSM), garantindo a padronização dos procedimentos e a confiabilidade dos dados coletados (ACSM, 2022).

4.5.3 Análise e identificação das fases do Ciclo Menstrual

A identificação das fases do ciclo menstrual foi realizada com base nas informações autorreferidas pelas participantes, considerando a regularidade e a duração média dos ciclos menstruais individuais. Para complementar esse acompanhamento, as participantes realizavam o monitoramento prospectivo do ciclo menstrual por meio de aplicativos de celular amplamente utilizados para registro do fluxo menstrual, como Clue®, Flo® e MyCalendar®, os quais permitem registrar informações como início da menstruação, duração do sangramento e intervalos entre ciclos. Evidências científicas indicam que esses aplicativos apresentam boa confiabilidade para o acompanhamento do ciclo menstrual em mulheres eumenorreicas, especialmente quando associados ao registro contínuo e à regularidade do ciclo (BULL et al., 2019; BUCHER et al., 2025).

Com base nessas informações, foi possível identificar previamente as fases do ciclo menstrual e agendar as avaliações experimentais de forma individualizada. Cada participante compareceu ao laboratório em duas ocasiões distintas, correspondentes a fases específicas do ciclo menstrual.

A primeira coleta foi realizada durante a fase folicular inicial, caracterizada por baixas concentrações de estradiol e progesterona, abrangendo o período entre o 1º e o 5º dia após o início da menstruação, conforme relato das participantes. A segunda visita ocorreu durante a fase lútea média, período marcado pela elevação das concentrações séricas de progesterona e níveis moderados de estradiol, correspondente ao intervalo entre o 22º e o 26º dia do ciclo menstrual.

Após a conclusão do ciclo subsequente, as participantes comunicaram novamente à pesquisadora responsável o início de um novo episódio menstrual, permitindo confirmar retrospectivamente a regularidade dos ciclos e a correspondência temporal entre as fases avaliadas. Esse procedimento contribuiu para aumentar a precisão na classificação das fases hormonais adotadas no estudo, conforme recomendações metodológicas previamente descritas na literatura (STRICKER et al., 2006).

5.4.4 Protocolo de exercício físico

As sessões de exercício foram realizadas em cicloergômetro (Kikos®), com intensidade classificada no domínio moderado, correspondente a 65% a 75% da frequência cardíaca de reserva (FCR), conforme recomendações do American College of Sports Medicine (ACSM) (GARBER et al., 2011). O protocolo teve duração total de 60 minutos e foi estruturado em três fases: aquecimento (5 minutos), fase principal (50 minutos) e recuperação ativa (5 minutos). Durante as fases de aquecimento e recuperação, a intensidade foi mantida abaixo de 65% da FCR, enquanto na fase principal foi ajustada entre 65% e 75% da FCR, caracterizando o domínio fisiológico de intensidade moderada.

A intensidade do exercício foi individualizada para cada participante, sendo controlada continuamente por meio da frequência cardíaca monitorada em tempo real com frequencímetro Polar®. A resistência do cicloergômetro foi ajustada manualmente ao longo do exercício de modo a manter a frequência cardíaca dentro da zona-alvo correspondente à intensidade prescrita, permitindo ajustes imediatos de acordo com a resposta fisiológica individual. Dessa forma, o controle da intensidade foi baseado principalmente na frequência cardíaca relativa (%FCR) e na resposta fisiológica individual, garantindo maior padronização do esforço entre as participantes.

A frequência cardíaca de treinamento (FCT) foi determinada utilizando a equação proposta por Karvonen, Kentala e Mustala (1957), que considera a frequência cardíaca máxima predita e a frequência cardíaca de repouso, permitindo estimar a intensidade relativa do exercício com base na frequência cardíaca de reserva. A equação utilizada foi:

$$FC_{treino} = (\% \text{ intensidade} \times (FC_{m\acute{a}x} - FC_{rep})) + FC_{rep}$$

em que $FC_{m\acute{a}x} - FC_{rep}$ corresponde à frequência cardíaca de reserva (FCR). Esse método permite ajustar a intensidade do exercício de forma individualizada, considerando as diferenças interindividuais na frequência cardíaca de repouso e na resposta cardiovascular ao esforço.

Adicionalmente, a intensidade percebida durante o exercício foi monitorada por meio da escala de percepção subjetiva de esforço (PSE) de Borg modificada (CR-10), previamente explicada e familiarizada com as participantes (BORG, 1982). Esse procedimento foi utilizado como medida complementar de controle da intensidade do esforço. O cicloergômetro permitia a visualização da potência estimada (W). Entretanto, esses valores foram utilizados apenas como referência descritiva do esforço mecânico realizado, não sendo empregados como critério para prescrição ou ajuste da intensidade do exercício. Dessa forma, a carga mecânica observada durante a fase principal variou entre aproximadamente 75 e 125 W, refletindo as diferenças individuais de resposta fisiológica entre as participantes.

As faixas de frequência cardíaca apresentadas na Tabela 1 representam valores aproximados da zona fisiológica correspondente às intensidades prescritas. Entretanto, a frequência cardíaca alvo foi calculada individualmente para cada participante com base na equação de Karvonen, considerando a frequência cardíaca de repouso e a frequência cardíaca máxima predita.

Tabela 1: Parâmetros fisiológicos utilizados para controle da intensidade do exercício durante o protocolo experimental.

Fase do exercício	Intensidade (%FCR)	Zona fisiológica	PSE (Borg CR-10)	Carga mecânica observada (W)*	Nível de resistência (Cicloergômetro)
Aquecimento	50–64%	Leve	2–3 (“leve a moderado”)	~50–75	1–2
Parte principal	65–75%	Moderada	4–6 (“moderado a um pouco pesado”)	~75–125	3–4

Recuperação	<65%	Leve	2–3 (“leve a moderado”)	~50–75	1–2
--------------------	------	------	-------------------------	--------	-----

FCR% = percentual da frequência cardíaca de reserva. PSE = percepção subjetiva de esforço. W = watts. A frequência cardíaca alvo foi calculada individualmente para cada participante por meio da equação de Karvonen, considerando a frequência cardíaca de repouso e a frequência cardíaca máxima predita. Os valores de potência (W) apresentados correspondem apenas às cargas mecânicas observadas durante o exercício, não sendo utilizados como parâmetro para prescrição da intensidade.

5.4.5 Frequência cardíaca e pressão arterial

A frequência cardíaca (FC) foi monitorada continuamente ao longo de todo o protocolo experimental — incluindo os períodos pré-exercício, durante o exercício e durante a recuperação pós-esforço — por meio de frequencímetro Polar® (modelo V800), previamente descrito na seção de instrumentação, o qual permite o registro contínuo e em tempo real dos batimentos cardíacos.

A pressão arterial (PA) foi aferida de forma indireta utilizando esfigmomanômetro aneroide Welch Allyn® e estetoscópio Premium®, seguindo as recomendações padronizadas para avaliação clínica propostas pelas Diretrizes Brasileiras de Hipertensão Arterial da Sociedade Brasileira de Cardiologia (SBC). A utilização do método auscultatório com esfigmomanômetro é amplamente recomendada em protocolos experimentais e clínicos por apresentar boa acurácia e reprodutibilidade quando realizado por avaliador treinado, sendo considerado um procedimento seguro e confiável para monitoramento da resposta pressórica ao exercício. As medições realizadas em repouso e durante a recuperação foram conduzidas com as participantes em decúbito dorsal. A aferição basal foi realizada após um período mínimo de 10 minutos de repouso, garantindo condições hemodinâmicas estáveis antes do início do exercício.

Durante o protocolo experimental, a pressão arterial foi aferida a cada 10 minutos durante o exercício, permitindo o monitoramento da resposta cardiovascular ao esforço. Após o término do exercício, as avaliações foram realizadas ao longo do período de recuperação pós-esforço, nos seguintes intervalos previamente definidos: 5–10 minutos, 15–20 minutos, 25–30 minutos, 35–40 minutos e 45–50 minutos. Esses momentos de avaliação permitiram acompanhar de forma detalhada a dinâmica da recuperação cardiovascular após o exercício físico.

5.4.6 Processamento dos sinais eletrocardiográficos de curta duração.

A avaliação do impacto agudo do exercício físico sobre a modulação autonômica cardíaca, considerando as diferentes fases do ciclo menstrual, foi realizada por meio da análise da variabilidade da frequência cardíaca (VFC), a partir de registros eletrocardiográficos (ECG) de curta duração.

Os sinais foram coletados em condição basal (pré-exercício) e durante o período de recuperação pós-esforço, sendo analisados em janelas temporais específicas ao longo da recuperação, conforme delineamento experimental. Para as análises, foram selecionados trechos estáveis de 5 minutos, conforme recomendado pelas diretrizes internacionais para análise de VFC (TASK FORCE, 1996), nos seguintes momentos:

- Basal: 5º ao 10º minuto do registro pré-exercício
- Rec1: 5–10 minutos pós-exercício
- Rec2: 15–20 minutos
- Rec3: 25–30 minutos
- Rec4: 35–40 minutos
- Rec5: 45–50 minutos

A partir desses segmentos, foi obtida a série temporal dos intervalos R-R normais (iNN). Os sinais foram submetidos a inspeção visual para identificação de artefatos e batimentos ectópicos. Quando identificados, esses batimentos foram excluídos juntamente com os intervalos adjacentes, garantindo a integridade da série temporal. As séries de iNN foram processadas no software Kubios HRV Analysis (versão 2.2, Kuopio, Finlândia), amplamente utilizado em estudos de modulação autonômica cardíaca. Para o pré-processamento, foi aplicado um filtro de correção de artefatos de nível médio, conforme recomendações do software.

Foram calculados os seguintes índices: SDNN: desvio padrão de todos os intervalos iNN, representando a variabilidade global; RMSSD: raiz quadrada da média das diferenças sucessivas entre intervalos iNN, considerado um marcador robusto da modulação parassimpática.

A análise espectral foi realizada por meio da Transformada Rápida de Fourier (FFT). Previamente, aplicou-se a remoção de tendência (*detrending*) utilizando o método *Smoothness Priors*, conforme recomendado para análise espectral de VFC.

Foram calculadas as potências espectrais nas bandas de: Baixa frequência (LF): 0,04–0,15 Hz; Alta frequência (HF): 0,15–0,40 Hz. Os resultados foram expressos em valores absolutos (m²) e em unidades normalizadas (u.n.).

A razão LF/HF também foi calculada e interpretada com cautela, sendo considerada um índice complementar da modulação autonômica, reconhecendo-se as limitações de sua interpretação como marcador direto do balanço simpato-vagal (BILLMAN, 2013).

5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk ($n < 50$) e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene. As análises indicaram violação dos pressupostos de normalidade para parte das variáveis ($p < 0,0001$). Em razão do delineamento com medidas repetidas e da presença de correlação intraindivíduo, foi empregada uma ANOVA two-way de modelo misto (REML), considerando grupo (2 níveis: fase folicular e fase lútea média) e tempo (6 níveis: repouso/Rep + 5 momentos de recuperação: Rec1-Rec5). Quando aplicável, foi utilizada a correção de Geisser-Greenhouse para violações de esfericidade, reportando-se o valor de ϵ e graus de liberdade ajustados.

As comparações múltiplas pós-hoc foram conduzidas conforme a estrutura da hipótese testada: (i) para comparações entre grupos em cada ponto temporal, aplicou-se ajuste de Bonferroni; e (ii) para comparações ao longo do tempo dentro de cada grupo (efeitos simples), utilizou-se o pós-teste de Tukey, com valores de p ajustados. O nível de significância adotado foi de 5% ($p \leq 0,05$).

Adicionalmente, associações entre variáveis hemodinâmicas (FC, PAS e PAD) e um índice autonômico (LnRMSSD) foram examinadas por correlação de Spearman(ρ), considerando os mesmos momentos temporais (Rep e Rec1-Rec5). Todas as análises foram realizadas no GraphPad Prism (versão 8.0.1).

6. RESULTADOS

6.1 FLUXOGRAMA DE RECRUTAMENTO DAS PARTICIPANTES

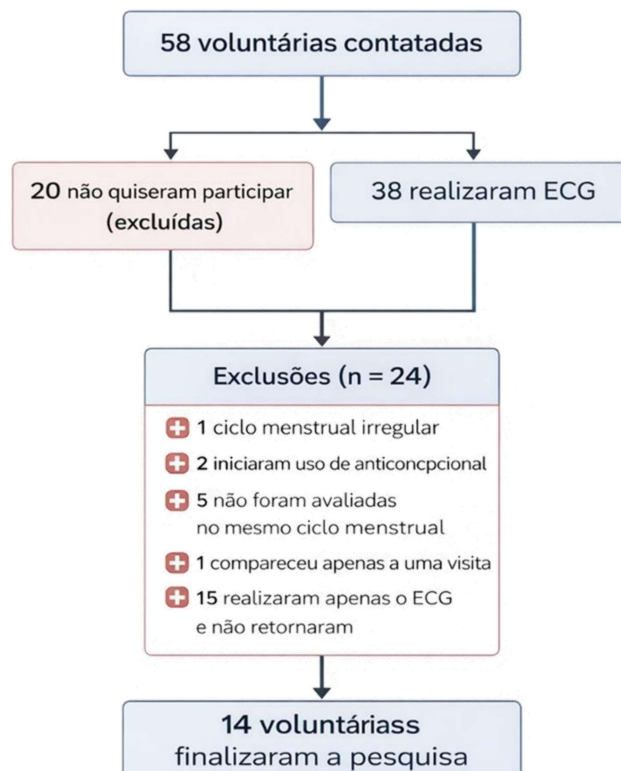
Inicialmente, 58 voluntárias foram contatadas para participação no estudo. Destas, 20 voluntárias optaram por não participar da pesquisa. Entre os principais motivos relatados estavam a incompatibilidade de horário, uma vez que as coletas eram realizadas no período da manhã e muitas voluntárias trabalhavam nesse

horário. Além disso, algumas voluntárias demonstraram interesse inicial apenas para conhecer a pesquisa, porém desistiram ao serem informadas de que seria necessário comparecer ao Hospital Universitário (HU) em mais de uma visita para a realização das avaliações.

Assim, 38 voluntárias realizaram o exame de eletrocardiograma (ECG). Entretanto, ao longo do acompanhamento, 24 voluntárias foram excluídas ou desistiram da continuidade na pesquisa. Os motivos incluíram: 1 voluntária com ciclo menstrual irregular, 2 voluntárias que iniciaram o uso de anticoncepcional durante o período do estudo, 5 voluntárias que não realizaram as avaliações no mesmo ciclo menstrual, 1 voluntária que compareceu apenas a uma visita, e 15 voluntárias que realizaram apenas o ECG e não retornaram para as etapas subsequentes da pesquisa. Além disso, parte das desistências também ocorreu devido à necessidade de comparecer ao HU em mais de uma ocasião para completar o protocolo experimental.

Ao final do processo de recrutamento e acompanhamento, 14 voluntárias completaram todas as etapas da pesquisa, constituindo a amostra final analisada no estudo.

Figura 2 - Fluxograma de recrutamento das voluntárias



6.2 DADOS DESCRITIVOS DAS PARTICIPANTES

A tabela 2 apresenta as características descritivas das voluntárias. A amostra foi composta por 14 mulheres, com idade média de $30,5 \pm 6,09$ anos. A maioria das participantes era praticante de atividade física (64,3%), enquanto 14,3% possuíam filhos. A idade média da menarca foi de $12,36 \pm 1,33$ anos, e a duração média do ciclo menstrual foi de $29,43 \pm 2,44$ dias.

Tabela 2: Características descritivas da amostra

Variável	Resultado (n=14)
Idade (anos)	$30,5 \pm 6,09$
Com filhos, n (%)	2 (14,3%)
Praticantes de atividade física, n (%)	9 (64,3%)
Idade da menarca (anos)	$12,36 \pm 1,33$
Dias do Ciclo (dias)	$29,43 \pm 2,44$

Os dados são apresentados como média \pm desvio-padrão.

6.3 DADOS ANTROPOMÉTRICOS, COMPOSIÇÃO CORPORAL E VARIÁVEIS HEMODINÂMICAS

A Tabela 3 apresenta as características antropométricas, composição corporal e variáveis hemodinâmica das participantes nas fases folicular inicial e lútea média do ciclo menstrual. Os resultados foram expressos em média \pm desvio-padrão. Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre as fases e os índices avaliados ($p > 0,05$ para todas as variáveis).

Tabela 3: Características antropométricas, composição corporal e variáveis hemodinâmica

Variável	Fase Folicular	Fase Lútea	p
	Inicial	Média	
IMC (kg/m²)	$23,33 \pm 3,62$	$23,41 \pm 3,68$	0,95
% Gordura	$25,11 \pm 7,05$	$24,43 \pm 5,70$	0,77
Massa Gorda (kg)	$16,40 \pm 7,08$	$15,88 \pm 6,30$	0,83

Massa Livre de Gordura (kg)	46,59 ± 6,17	47,06 ± 6,56	0,84
Circunferência Abdominal (cm)	81,36 ± 10,5	81,98 ± 10,04	0,87
FC de repouso (bmp)	66,21 ± 9,86	69,71 ± 9,47	0,34
PAS repouso (mmHg)	104,6 ± 8,91	105,8 ± 7,60	0,7
PAD repouso (mmHg)	69,14 ± 7,09	67,14 ± 8,25	0,49

Os dados são apresentados como média ± desvio-padrão. A comparação entre as variáveis nas fases folicular inicial e lútea média foi realizada por meio do teste t de Student para amostras pareadas, após verificação dos pressupostos de normalidade. O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$. IMC = Índice de Massa Corporal; FC = Frequência Cardíaca; PAS = Pressão Arterial Sistólica; PAD = Pressão Arterial Diastólica.

6.4 AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE ATIVIDADE FÍSICA (IPAQ)

O gasto energético semanal foi estimado a partir do Questionário Internacional de Atividade Física (IPAQ), utilizando os valores padronizados de equivalentes metabólicos (METs) para cada tipo de atividade: caminhada (3,3 METs), atividade moderada (4,0 METs) e atividade vigorosa (8,0 METs). O cálculo do gasto energético total foi realizado pela multiplicação do valor de MET pela duração (minutos/dia) e pela frequência (dias/semana) de cada atividade, sendo posteriormente somados para obtenção do valor total em MET-min/semana. Observou-se gasto energético médio de 26.485,7 ± 16.624,1 MET-min/semana na fase folicular e 25.200,0 ± 12.786,5 MET-min/semana na fase lútea. Em ambas as fases, as participantes foram classificadas como muito ativas.

Tabela 4: Questionário do nível de atividade física (IPAQ)

Fase do Ciclo Menstrual	MET-min/semana (média ± DP)
Fase Folicular Inicial	26.485,7 ± 16.624,1
Fase Lútea Média	25.200,0 ± 12.786,5

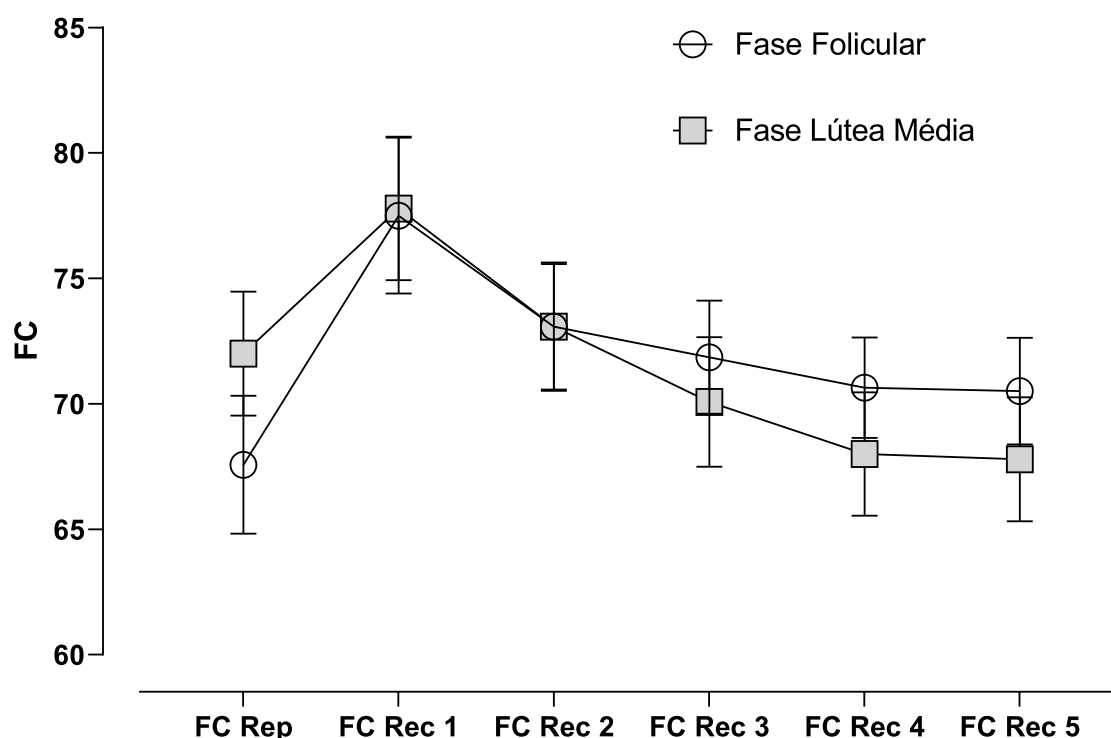
Os dados são apresentados como média ± desvio-padrão.

6.5 FREQUÊNCIA CARDÍACA (FC)

A ANOVA two-way de modelo misto demonstrou efeito principal de tempo para a FC ($F(2,261; 58,78) = 26,51; p < 0,0001; \epsilon = 0,4521$) e interação tempo × grupo ($F(5; 130) = 4,484; p = 0,0008$). Não houve efeito principal de grupo ($F(1; 26) = 0,014; p = 0,9057$), indicando valores médios globais semelhantes entre as fases do ciclo

menstrual. Apesar da interação tempo × grupo no modelo global, as comparações entre grupos em cada tempo (via teste pós-hoc de Bonferroni) não identificaram diferenças significativas entre fase folicular e fase lútea média em nenhum momento (Rep e Rec1-Rec5; todas as comparações com p ajustado > 0,9999). As diferenças médias variaram de -4,43 bpm no repouso (IC95%: -15,00 a 6,14) a 2,71 bpm em Rec5 (IC95%: -6,60 a 12,03).

Figura 3 - Comportamento da frequência cardíaca (FC) em repouso e durante o período de recuperação após a sessão de exercício físico (n=14).



A FC foi analisada em repouso, após 10 minutos (FC Rep 10 min), e durante a fase de recuperação pós-exercício, ao longo de 60 minutos, com registros realizados a cada 10 minutos (FC Rec 1 - 10 min; FC Rec 2 - 20 min; FC Rec 3 - 30 min; FC Rec 4 - 40 min; FC Rec 5 - 50 min; FC Rec 6 - 60 min). A análise estatística foi realizada por meio de ANOVA two-way de modelo misto, considerando os fatores tempo e fase do ciclo menstrual. As comparações múltiplas entre grupos em cada tempo foram realizadas com ajuste de Bonferroni, não sendo identificadas diferenças significativas entre as fases do ciclo menstrual em nenhum momento avaliado (p ajustado > 0,9999). O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$.

6.6 PRESSÃO ARTERIAL SISTÓLICA (PAS)

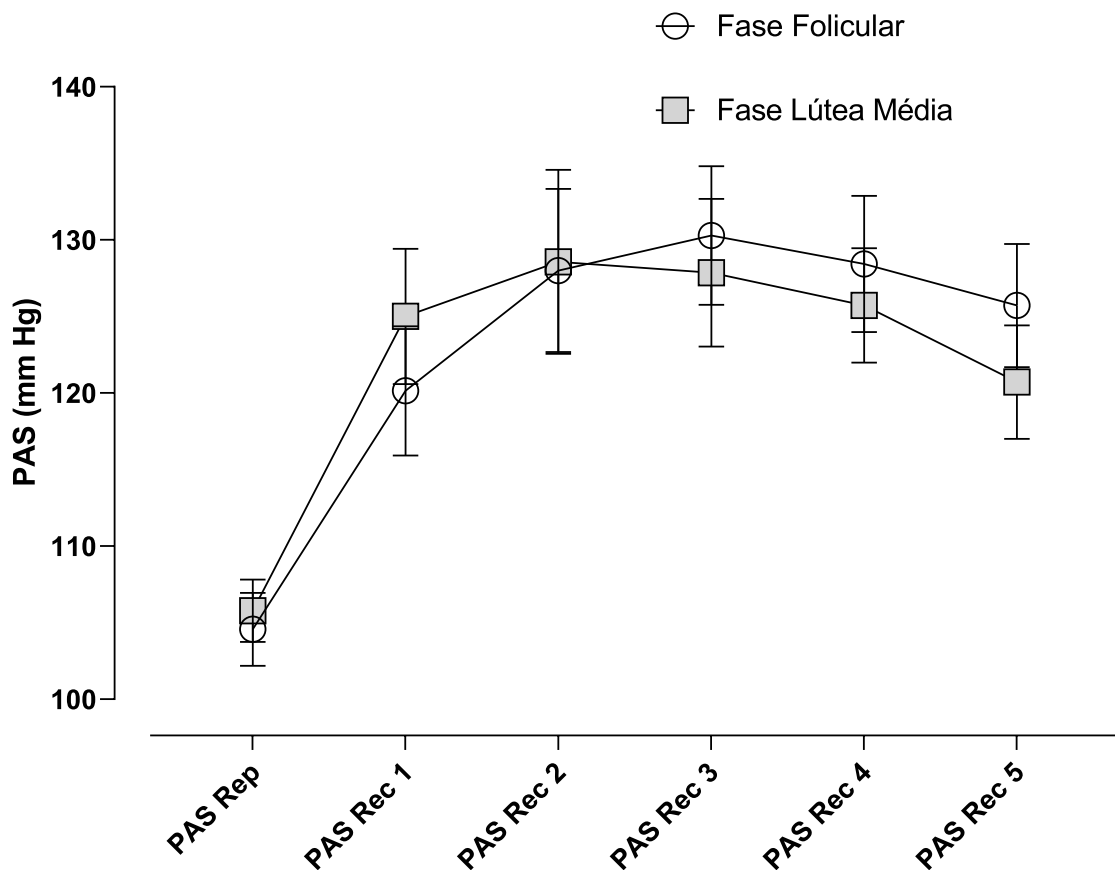
Para a PAS, observou-se efeito principal de tempo ($F(2,864; 74,47) = 24,72$; $p < 0,0001$; $\epsilon = 0,5729$), sem efeito principal de grupo ($F(1; 26) = 0,013$; $p = 0,9094$) e sem interação tempo × grupo ($F(5; 130) = 0,9566$; $p = 0,4470$). Esses resultados

indicam redução da PAS ao longo do período de recuperação de maneira semelhante entre as fases.

Nas comparações intragrupo ao longo do tempo (Tukey), na fase folicular a PAS foi significativamente menor em Rec2 ($\Delta = -23,43$ mmHg; IC95%: $-38,70$ a $-8,16$; $p_{ajustado} = 0,0023$), Rec3 ($\Delta = -25,71$ mmHg; IC95%: $-37,32$ a $-14,11$; $p_{ajustado} < 0,0001$), Rec4 ($\Delta = -23,86$ mmHg; IC95%: $-36,17$ a $-11,54$; $p_{ajustado} = 0,0003$) e Rec5 ($\Delta = -21,14$ mmHg; IC95%: $-31,82$ a $-10,46$; $p_{ajustado} = 0,0002$) quando comparados ao repouso. A comparação Rep vs Rec1 não atingiu significância ($\Delta = -15,57$ mmHg; IC95%: $-31,36$ a $0,22$; $p_{ajustado} = 0,0542$).

Na fase lútea média, a PAS foi significativamente menor em todos os momentos de recuperação em comparação ao repouso: Rec1 ($\Delta = -19,21$ mmHg; IC95%: $-34,15$ a $-4,28$; $p_{ajustado} = 0,0094$), Rec2 ($\Delta = -22,79$ mmHg; IC95%: $-41,97$ a $-3,60$; $p_{ajustado} = 0,0167$), Rec3 ($\Delta = -22,07$ mmHg; IC95%: $-37,34$ a $-6,80$; $p_{ajustado} = 0,0037$), Rec4 ($\Delta = -19,93$ mmHg; IC95%: $-32,02$ a $-7,83$; $p_{ajustado} = 0,0012$) e

Rec5 ($\Delta = -14,93$ mmHg; IC95%: $-25,92$ a $-3,93$; $p_{ajustado} = 0,0062$). Figura 4 - Comportamento da pressão arterial sistólica (PAS) em repouso e durante o período de recuperação após a sessão de exercício físico (n = 14)

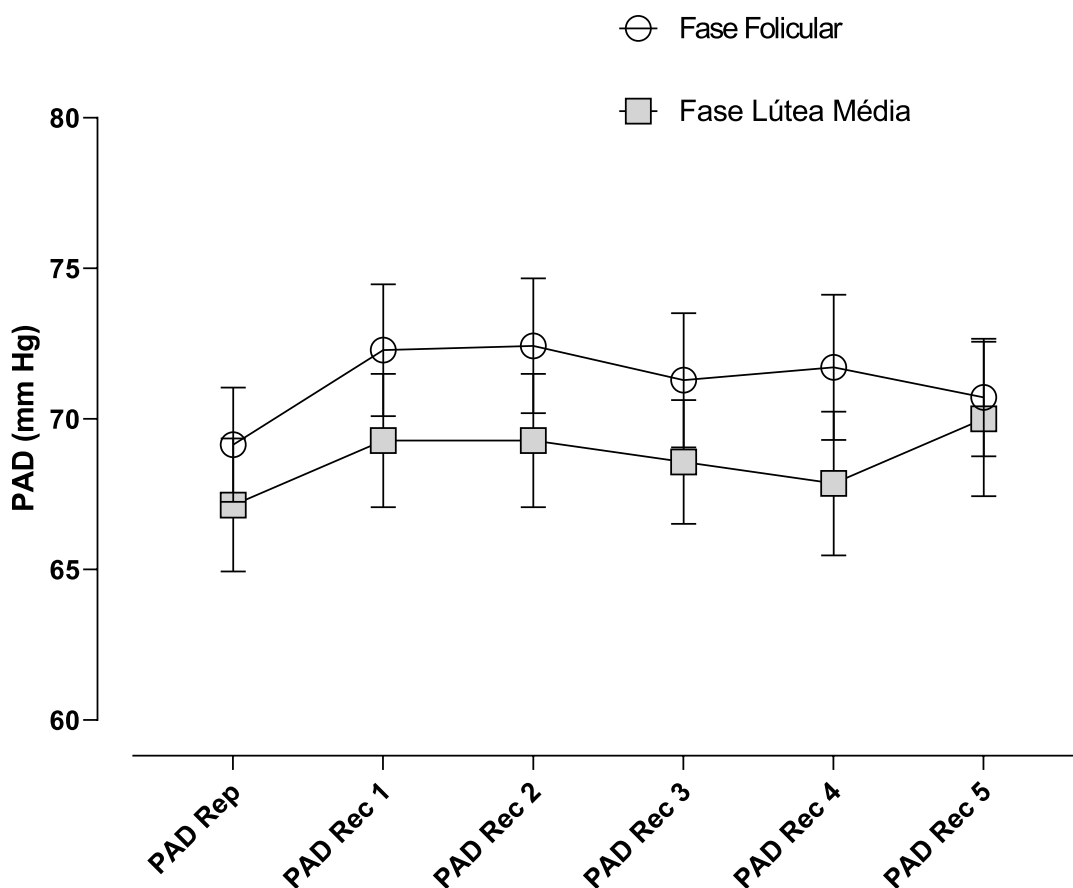


A PAS foi analisada em repouso, após 10 minutos de estabilização, e durante a fase de recuperação pós-exercício, ao longo de 60 minutos, com registros realizados a cada 10 minutos (Rec1 - 10 min; Rec2 - 20 min; Rec3 - 30 min; Rec4 - 40 min; Rec5 - 50 min; Rec6 - 60 min). A análise estatística foi realizada por meio de ANOVA two-way de modelo misto, considerando os fatores tempo e fase do ciclo menstrual. As comparações intragrupo ao longo do tempo foram realizadas por meio do teste post hoc de Tukey. O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$.

6.7 PRESSÃO ARTERIAL DIASTÓLICA (PAD)

A PAD não apresentou efeito principal de tempo ($F(3,244; 84,34) = 0,9933$; $p = 0,4045$; $\epsilon = 0,6488$), nem efeito principal de grupo ($F(1; 26) = 1,014$; $p = 0,3231$) e tampouco interação tempo \times grupo ($F(5; 130) = 0,2974$; $p = 0,9136$). As comparações múltiplas (Tukey) confirmaram ausência de diferenças entre repouso e recuperação e entre os diferentes tempos de recuperação em ambas as fases (todas as comparações com p ajustado $\geq 0,5957$). A PAD manteve variação discreta ao longo do protocolo, sem tendência clara de aumento ou redução.

Figura 5 - Comportamento da pressão arterial diastólica (PAD) em repouso e durante o período de recuperação após a sessão de exercício físico ($n = 14$).



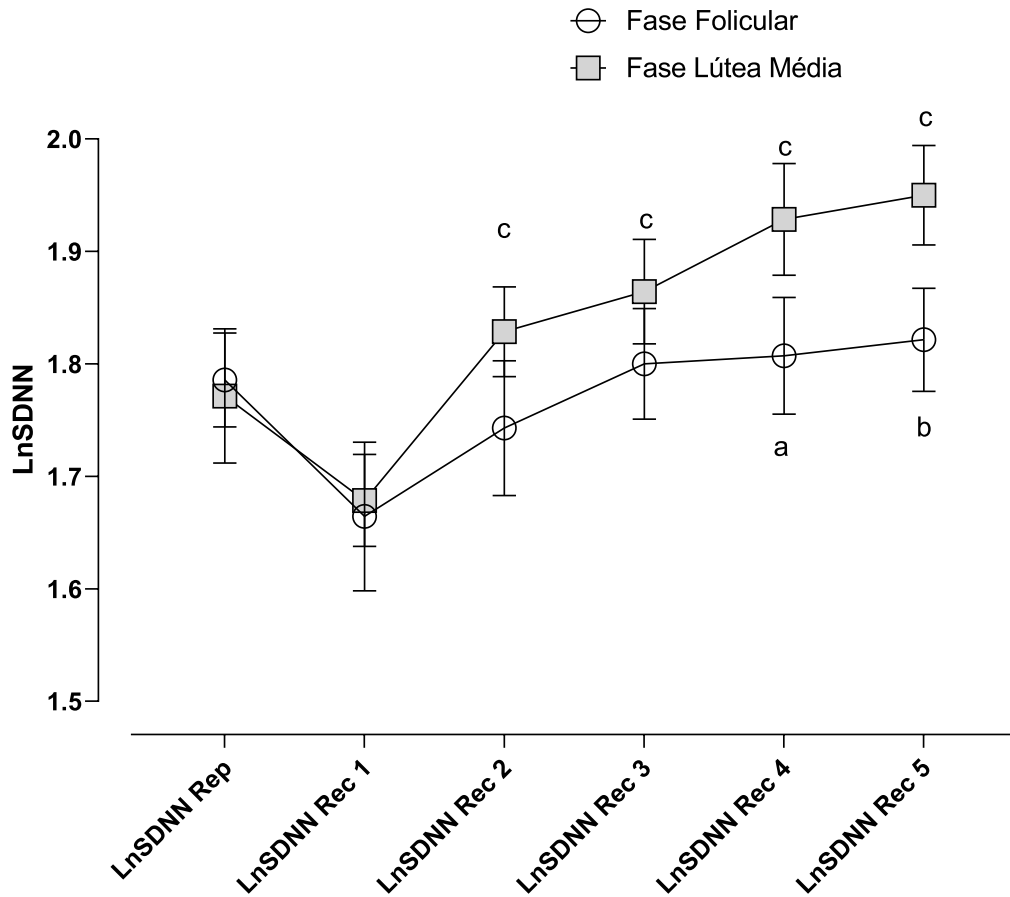
A PAD foi avaliada em repouso, após 10 minutos de estabilização, e durante a fase de recuperação pós-exercício, ao longo de 60 minutos, com registros realizados a cada 10 minutos (Rec1 – 10 min; Rec2 - 20 min; Rec3 - 30 min; Rec4 - 40 min; Rec5 - 50 min; Rec6 - 60 min). A análise estatística foi conduzida por meio de ANOVA two-way de modelo misto, considerando os fatores tempo e fase do ciclo menstrual. O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$.

6.8 DESVIO PADRÃO DOS INTERVALOS NN (LnSDNN)

A ANOVA *two-way* de modelo misto identificou efeito principal de tempo para LnSDNN ($F(2,728; 70,92) = 14,99; p < 0,0001; \epsilon = 0,5455$), sem efeito principal de grupo ($F(1; 26) = 1,198; p = 0,2838$) e sem interação tempo \times grupo ($F(5; 130) = 2,054; p = 0,0753$).

Nos pós-testes (Tukey), na fase folicular LnSDNN foi maior em Rec4 quando comparado a Rec1 ($\Delta = -0,1429$; IC95%: $-0,2455$ a $-0,04024$; $p_{ajustado} = 0,0051$) e maior em Rec5 quando comparado a Rec1 ($\Delta = -0,1571$; IC95%: $-0,3035$ a $-0,01083$; $p_{ajustado} = 0,0325$). Na fase lútea média, LnSDNN foi maior em Rec2, Rec3, Rec4 e Rec5 quando comparado a Rec1 (todas com $p_{ajustado} \leq 0,0002$), além de Rec5 apresentar valores superiores a Rec2 ($p_{ajustado} = 0,0205$) e Rec3 ($p_{ajustado} = 0,0250$). Em conjunto, esses achados indicam modulação temporal do LnSDNN, especialmente envolvendo Rec1, sem diferenças globais entre fases.

Figura 6 - Comportamento do LnSDNN em repouso e durante o período de recuperação após a sessão de exercício físico (n = 14).



O LnSDNN foi analisado em repouso, após 10 minutos de estabilização, e durante a fase de recuperação pós-exercício, ao longo de 60 minutos, com registros realizados a cada 10 minutos (Rec1 - 10 min; Rec2 - 20 min; Rec3 - 30 min; Rec4 - 40 min; Rec5 - 50 min; Rec6 - 60 min). A análise estatística foi realizada por meio de ANOVA two-way de modelo misto, considerando os fatores tempo e fase do ciclo menstrual. ^ap = 0,0051 vs Rec 1; ^bp=0,0325 vs Rec 1; ^cp<0.001 vs Rec 1.

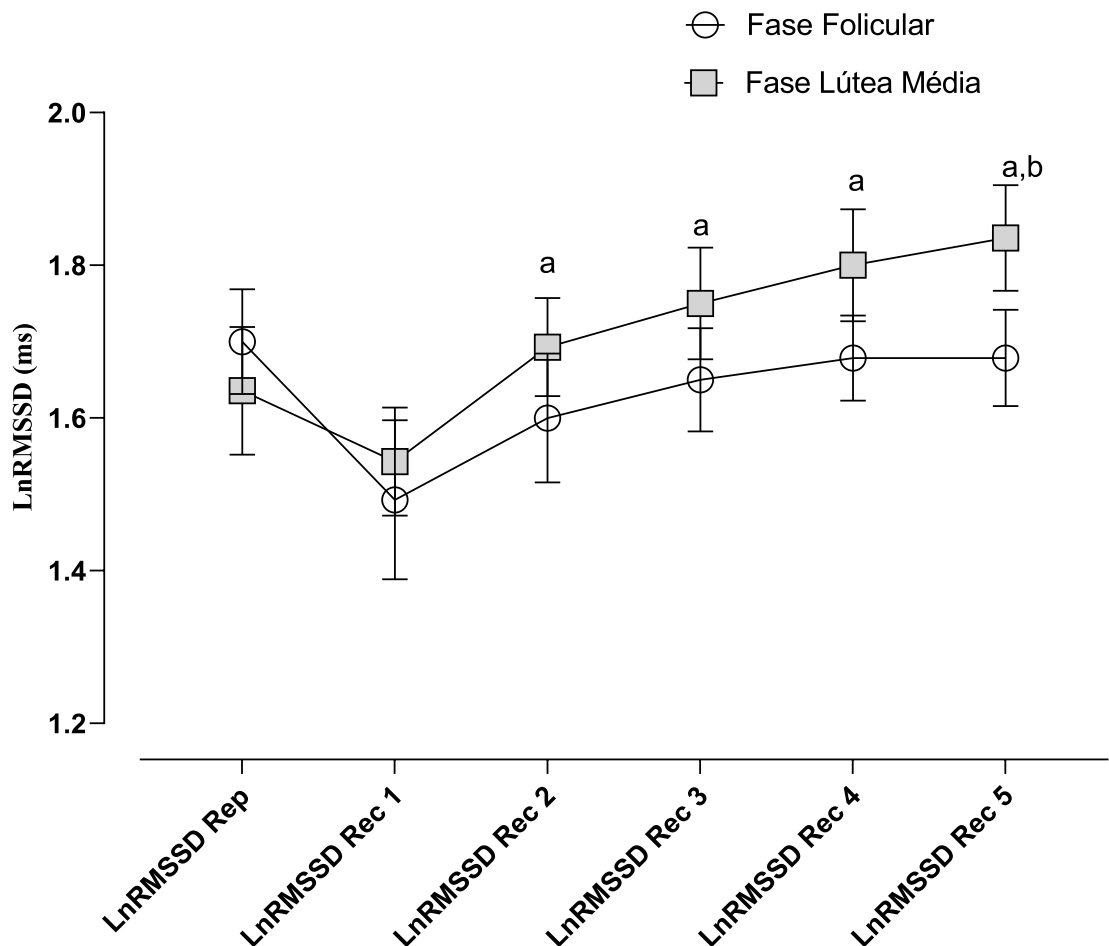
6.9 RAIZ QUADRADA DA MÉDIA DAS DIFERENÇAS SUCESSIVAS (LnRMSSD)

Para o LnRMSSD, a ANOVA two-way de modelo misto evidenciou efeito principal de tempo ($F(2,606; 67,75) = 13,59; p < 0,0001; \epsilon = 0,5211$), ausência de efeito principal de grupo ($F(1; 26) = 0,6319; p = 0,4339$) e presença de interação tempo \times grupo ($F(5; 130) = 2,742; p = 0,0217$). Esses resultados indicam que a modulação vagal variou ao longo do período de recuperação de forma dependente do tempo, com comportamento distinto entre as fases do ciclo menstrual.

As análises post hoc mostraram que, na fase folicular, não foram observadas diferenças significativas entre os momentos avaliados, sugerindo um padrão relativamente estável de reativação vagal ao longo da recuperação. Por outro lado,

na fase lútea média, verificou-se que o LnRMSSD em Rec1 foi significativamente inferior aos valores observados em Rec2, Rec3, Rec4 e Rec5 (todas com p-valor $\leq 0,0017$), indicando supressão vagal mais acentuada imediatamente após o exercício, seguida de aumento progressivo ao longo do período de recuperação. Além disso, Rec5 apresentou valores superiores ao repouso (p-valor = 0,0453), sugerindo uma recuperação vagal tardia mais pronunciada ao final do protocolo. Diferenças adicionais foram identificadas entre Rec2 vs Rec5 (p-valor = 0,0051) e Rec3 vs Rec5 (p-valor = 0,0250), reforçando a progressiva elevação do LnRMSSD ao longo da recuperação na fase lútea média.

Figura 7 - Comportamento do LnRMSSD em repouso e durante o período de recuperação após a sessão de exercício físico (n = 14).

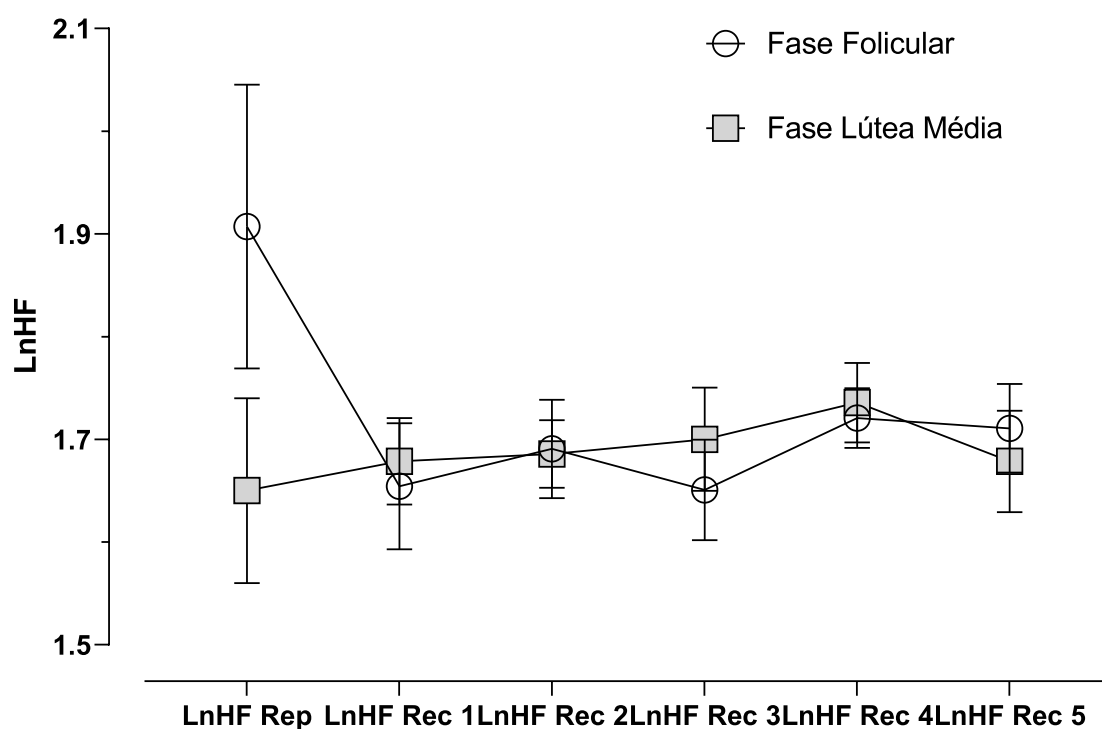


O LnRMSSD foi avaliado em repouso, após 10 minutos de estabilização, e durante a fase de recuperação pós-exercício, ao longo de 60 minutos, com registros realizados a cada 10 minutos (Rec1 - 10 min; Rec2 - 20 min; Rec3 - 30 min; Rec4 - 40 min; Rec5 - 50 min; Rec6 - 60 min). A análise estatística foi conduzida por meio de ANOVA two-way de modelo misto, considerando os fatores tempo e fase do ciclo menstrual. ^ap<0.01 vs Rec 1; ^bp<0.01 vs Rep

6.10 ALTA FREQUÊNCIA – HIGH FREQUENCY (HF)

A análise de HF mostrou efeito principal de tempo ($F(1,067; 27,53) = 4,620$; $p = 0,0384$; $\varepsilon = 0,2134$), efeito principal de grupo ($F(1; 26) = 4,906$; $p = 0,0357$) e interação tempo \times grupo ($F(5; 129) = 4,615$; $p = 0,0007$). Considerando o efeito de grupo, as médias preditas indicaram valores mais elevados na fase lútea média em comparação à fase folicular (diferença entre médias preditas = $-179,0$; IC95%: $-345,1$ a $-12,89$). Entretanto, as comparações intrafase ao longo do tempo (Tukey) não demonstraram diferenças significativas entre os momentos dentro de cada fase (todas as comparações com p ajustado $\geq 0,2165$).

Figura 8 - Comportamento do componente de alta frequência (HF) da VFC em repouso e durante o período de recuperação após a sessão de exercício físico ($n=14$).



O componente HF foi analisado em repouso, após 10 minutos de estabilização, e durante a fase de recuperação pós-exercício, ao longo de 60 minutos, com registros realizados a cada 10 minutos (Rec1 – 10 min; Rec2 – 20 min; Rec3 – 30 min; Rec4 – 40 min; Rec5 – 50 min; Rec6 – 60 min). A análise estatística foi realizada por meio de ANOVA two-way de modelo misto, considerando os fatores tempo e fase do ciclo menstrual. O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$.

6.11 CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS HEMODINÂMICAS E AUTONÔMICAS

A correlação de Spearman entre LnRMSSD e variáveis hemodinâmicas mostrou, de modo geral, associações inversas com FC e PAS, e associações diretas com PAD, variando conforme o momento temporal. Para FC vs LnRMSSD, observou-se correlação negativa moderada no repouso ($\rho = -0,53$), em Rec1 ($\rho = -0,59$) e em Rec3 ($\rho = -0,55$), enquanto correlações negativas fracas foram verificadas em Rec2 ($\rho = -0,43$), Rec4 ($\rho = -0,34$) e Rec5 ($\rho = -0,33$), sugerindo que maiores valores de FC tenderam a estar associados a menor variabilidade vagal, sobretudo nos primeiros momentos. Para PAS vs LnRMSSD, a correlação foi negativa moderada no repouso ($\rho = -0,67$) e em Rec1 ($\rho = -0,57$). Nos demais tempos, as associações foram fracas: Rec2 ($\rho = -0,14$), Rec3 ($\rho = -0,08$), Rec4 ($\rho = -0,29$) e Rec5 ($\rho = -0,46$).

Em contraste, para PAD vs LnRMSSD foram observadas correlações positivas (direção concordante), sendo moderada em Rec3 ($\rho = 0,59$) e fracas nos demais momentos: repouso ($\rho = 0,47$), Rec1 ($\rho = 0,44$), Rec2 ($\rho = 0,44$), Rec4 ($\rho = 0,27$) e Rec5 ($\rho = 0,21$).

7. DISCUSSÃO

O principal achado deste estudo foi que a recuperação autonômica cardíaca após exercício aeróbio moderado foi predominantemente influenciada pelo tempo, sem diferenças globais entre as fases do ciclo menstrual. Esse resultado sugere que, em intensidades moderadas, os mecanismos homeostáticos de regulação cardiovascular parecem sobrepor possíveis efeitos hormonais. Estudos prévios têm demonstrado resultados semelhantes.

Inicialmente, a ausência de diferenças significativas nas variáveis basais — incluindo frequência cardíaca, pressão arterial e índices de VFC — (Tabela 2; Figuras 2–5) reforça a homogeneidade da amostra e assegura adequada comparabilidade entre as condições experimentais. Esse resultado está em consonância com evidências que indicam que mulheres eumenorreicas saudáveis apresentam estabilidade autonômica em repouso, apesar das oscilações hormonais ao longo do ciclo menstrual (SCHMALENBERGER et al., 2020; McNULTY et al., 2020). Tal estabilidade sugere que os mecanismos regulatórios cardiovasculares basais são robustos o suficiente para manter a homeostase, independentemente das variações hormonais fisiológicas.

No período pós-exercício, observou-se efeito significativo do tempo sobre todas as variáveis cardiovasculares e autonômicas analisadas (Figuras 2–7), evidenciando a clássica resposta de recuperação caracterizada por redução progressiva da frequência cardíaca, normalização da pressão arterial e reativação vagal. Esse padrão é consistente com o modelo fisiológico descrito por Imai et al. (1994) e amplamente discutido na literatura, no qual a retirada da atividade simpática e a reativação do tônus parassimpático são determinantes para o restabelecimento da homeostase cardiovascular (COLE et al., 1999; STANLEY; PEAKE; BUCHHEIT, 2013).

A ausência de diferenças globais entre as fases do ciclo menstrual ao longo dos 60 minutos de recuperação (Figuras 2–7) sugere que, sob condições de exercício aeróbio moderado, os mecanismos homeostáticos de regulação cardiovascular são capazes de compensar possíveis influências hormonais. Esse achado corrobora estudos prévios que demonstram que, em intensidades moderadas, a resposta autonômica tende a ser menos sensível às oscilações hormonais do ciclo menstrual (ESER et al., 2016; DEWAR et al., 2023). Dessa forma, a magnitude do estresse fisiológico imposto pelo exercício parece ser um fator determinante para a expressão dessas diferenças. Entretanto, um achado relevante emergiu da análise detalhada da cinética de recuperação: a presença de uma reativação vagal mais pronunciada nos momentos iniciais da recuperação na fase lútea média, evidenciada principalmente pelo comportamento do LnRMSSD (Figura 6). Esse resultado indica que, embora não haja diferenças sustentadas ao longo do tempo, a fase lútea pode influenciar a dinâmica inicial da recuperação autonômica.

Do ponto de vista fisiológico, esse comportamento pode ser explicado pela interação entre estradiol e progesterona. Embora a progesterona esteja associada a maior ativação simpática (CARTER; LAWLEY, 2007; CHARKOUDIAN; HART, 2012), a presença concomitante de estradiol na fase lútea média pode exercer efeitos moduladores importantes, como aumento da biodisponibilidade de óxido nítrico, melhora da função endotelial e maior sensibilidade barorreflexa (MENDELSON; KARAS, 2005; SCHMALENBERGER et al., 2020). Esses efeitos podem favorecer uma reativação vagal mais eficiente no período inicial pós-exercício.

Além disso, evidências sugerem que os primeiros minutos de recuperação representam uma janela fisiológica particularmente sensível para a avaliação da

modulação autonômica (BUCHHEIT, 2014). Nesse período, pequenas diferenças na dinâmica simpato-vagal tornam-se mais evidentes, enquanto ao longo do tempo tendem a ser atenuadas pelos mecanismos de autorregulação cardiovascular. Esse fenômeno pode explicar por que as diferenças observadas no LnRMSSD não se mantiveram ao longo de todo o período de recuperação.

Os resultados observados para o domínio da frequência, especialmente o comportamento do HF (Figura 7), reforçam essa interpretação, uma vez que esse índice também reflete predominantemente a modulação vagal (TASK FORCE, 1996; SHAFFER; GINSBERG, 2017). A ausência de diferenças sustentadas entre as fases sugere que a influência hormonal, quando presente, é transitória e dependente do momento de análise.

Outro aspecto importante diz respeito à intensidade do exercício adotado. O protocolo de intensidade moderada (65–75% da FCR) promove respostas autonômicas mais estáveis e menos disruptivas, quando comparado a exercícios de alta intensidade, nos quais a retirada simpática é mais prolongada e a reativação vagal mais lenta (BUCHHEIT; LAURSEN, 2013; MICHAEL et al., 2017). Nesse sentido, é plausível que protocolos mais intensos possam amplificar as diferenças entre fases do ciclo menstrual, hipótese que deve ser explorada em estudos futuros.

Os achados do presente estudo contribuem para esclarecer inconsistências da literatura, frequentemente atribuídas à heterogeneidade metodológica (ELLIOTT-SALE et al., 2021; SIMS et al., 2021). Ao adotar um delineamento com controle rigoroso das fases do ciclo menstrual, padronização da intensidade do exercício e avaliação da recuperação em múltiplos pontos temporais (Figuras 2–7), este estudo oferece uma análise mais refinada da dinâmica autonômica pós-exercício.

8. CONCLUSÃO

A recuperação autonômica cardíaca após exercício aeróbico de intensidade moderada em mulheres eumenorreicas não difere globalmente entre as fases folicular inicial e lútea média. No entanto, a fase lútea média altera a cinética dessa resposta, caracterizando-se por maior supressão vagal imediata após o exercício, seguida de reativação parassimpática mais pronunciada ao longo da recuperação.

Apesar dessas diferenças temporais, a frequência cardíaca e a pressão arterial mantiveram comportamento semelhante entre as fases, indicando preservação dos mecanismos hemodinâmicos pós-exercício e adequada integração entre controle

autônômico e regulação vascular. As associações observadas entre LnRMSSD, frequência cardíaca e pressão arterial sistólica reforçam o papel central da modulação vagal na recuperação cardiovascular.

De forma integrada, os resultados indicam que o ciclo menstrual não compromete a recuperação autonômica global, mas modula sua dinâmica temporal, possivelmente por interações neuroendócrinas entre progesterona e estradiol. Esse padrão evidencia elevada flexibilidade autonômica, permitindo recuperação eficiente independentemente das oscilações hormonais.

Do ponto de vista aplicado, a fase do ciclo menstrual deve ser considerada na interpretação da variabilidade da frequência cardíaca durante a recuperação pós-exercício, uma vez que a fase lútea média pode apresentar maior supressão vagal inicial sem prejuízo da recuperação global.

REFERÊNCIAS

1. ANDRIĆ, L. et al. Differences in autonomic heart rate modulation during rest and after a supramaximal anaerobic test in relation to gender and the menstrual cycle in women. *Vojnosanitetski Pregled*, v. 78, n. 4, p. 389-396, 2021. DOI: 10.2298/VSP190129084A.
2. AUBERT, A. E.; SEPS, B.; BECKERS, F. Heart rate variability in athletes. *Sports Medicine*, [local não informado], v. 33, n. 12, p. 889-919, 2003.
3. BALAYSSAC-SIRANSY, E. et al. Effects of menstrual cycle on vagal reactivation in post-exercise recovery among young black African women. *Science & Sports*, v. 29, p. 196-202, 2014. DOI: 10.1016/j.scispo.2014.04.001. BILLMAN, G. E. The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance. *Frontiers in Physiology*, v. 4, p. 1-5, 2013.
4. BORG, G. Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, v. 14, n. 5, p. 377-381, 1982.
5. BUCHHEIT, M.; LAURSEN, P. B. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. *Sports Medicine*, v. 43, n. 5, p. 313-338, 2013.
6. BULL, F. C. et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *British Journal of Sports Medicine*, v. 54, n. 24, p. 1451-1462, 2020.
7. CARTER, J. R.; LAWLEY, J. S. Short-term and long-term effects of ovarian hormones on cardiovascular control in women. *Journal of Applied Physiology*, v. 102, n. 4, p. 1533-1540, 2007.
8. CHARKOUDIAN, N.; HART, E. C. J. Influences of reproductive hormones on sympathetic neurotransmission and hemodynamics in humans. *Frontiers in*

Physiology, v. 3, p. 1-10, 2012.

9. CHARKOUDIAN, N.; STACHENFELD, N. S. Reproductive hormone influences on thermoregulation in women. *Comprehensive Physiology*, v. 4, n. 2, p. 793-804, 2014. DOI: 10.1002/cphy.c130029.
10. CHARKOUDIAN, N.; STACHENFELD, N. S. Sex hormone effects on autonomic mechanisms of thermoregulation in humans. *Autonomic Neuroscience*, v. 196, p. 75-80, 2016. DOI: 10.1016/j.autneu.2015.11.004.
11. COLE, C. R. et al. Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality from any cause. *New England Journal of Medicine*, v. 341, n. 18, p. 1351-1357, 1999.
12. CORTI, R. et al. Coffee acutely increases sympathetic nerve activity and blood pressure independently of caffeine content: role of habitual versus nonhabitual drinking. *Circulation*, v. 106, n. 23, p. 2935-2940, 2002. DOI: 10.1161/01.cir.0000046228.97025.3a.
13. COSTELLO, J. T. et al. Where are all the female participants in Sports and Exercise Medicine research? *European Journal of Sport Science*, v. 14, n. 8, p. 847-851, 2014.
14. COWLEY, E. S. et al. Invisible sportswomen: the sex data gap in sport and exercise science research. *Women in Sport and Physical Activity Journal*, v. 29, n. 2, p. 146-151, 2021.
15. CRANDALL, C. G.; GONZÁLEZ-ALONSO, J. Cardiovascular function in the heat-stressed human. *Acta Physiologica*, v. 199, n. 4, p. 407-423, 2010. DOI: 10.1111/j.1748-1716.2010.02119.x.
16. DEVRIES, M. C. Sex-based differences in endurance exercise muscle metabolism: impact on exercise and nutritional strategies to optimize health and performance in women. *Experimental Physiology*, v. 101, n. 2, p. 243-249, 2016. DOI: 10.1113/EP085369.
17. ELLIOTT-SALE, K. J. et al. Methodological considerations for studies on the menstrual cycle and oral contraceptive use in resistance training research. *Frontiers in Physiology*, v. 11, p. 1-15, 2021.
18. FONTOURA, T. S. et al. Evaluation of cardiac vagal activity in post-exercise recovery during different phases of the menstrual cycle: a systematic review. *Cuadernos de Educación y Desarrollo*, v. 17, n. 7, p. 1-21, 2025.
19. FRITZ, M. A.; SPEROFF, L. *Endocrinología ginecológica clínica e infertilidade*. 8. ed. Rio de Janeiro: Thieme Revinter, 2015. E-book. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/books/9788554651442>
20. FURLAN, R. et al. Continuous 24-hour assessment of the neural regulation of systemic arterial pressure and RR variabilities in ambulant subjects. *Circulation*, v. 81, n. 2, p. 537-547, 1990. DOI: 10.1161/01.cir.81.2.537.
21. GARBER, C. E. et al. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining

cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, v. 43, n. 7, p. 1334-1359, 2011.

22. HALL, J. E. *Tratado de fisiologia médica*. 13. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.
23. HUNTER, S. K. Sex differences in human fatigability: mechanisms and insight to physiological responses. *Acta Physiologica*, Oxford, v. 210, n. 4, p. 768-789, 2014. DOI: 10.1111/apha.12234.
24. IMAI, K. et al. Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in patients with chronic heart failure. *Journal of the American College of Cardiology*, v. 24, n. 5, p. 1270-1275, 1994.
25. JAMES, J. et al. Mitochondrial dysfunction-induced hemolysis: a precursor to vascular leakage and pulmonary hypertension. *Blood Vessels, Thrombosis & Hemostasis*, v. 2, n. 4, p. 100097, 2025. DOI: 10.1016/j.bvth.2025.100097.
26. JANSE DE JONGE, X. A. K. Effects of the menstrual cycle on exercise performance. *Sports Medicine*, v. 33, n. 11, p. 833-851, 2003.
27. KARVONEN, M. J.; KENTALA, E.; MUSTALA, O. The effects of training on heart rate: a longitudinal study. *Annales Medicinæ Experimentalis et Biologiæ Fenniae*, v. 35, p. 307-315, 1957.
28. KOENIG, J.; THAYER, J. F. Sex differences in healthy human heart rate variability: a meta-analysis. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, v. 64, p. 288-310, 2016. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2016.03.007.
29. KWISSA, M. et al. Cardiovascular function in different phases of the menstrual cycle in healthy women of reproductive age. *Journal of Clinical Medicine*, v. 11, n. 19, p. 5861, 2022. DOI: 10.3390/jcm11195861.
30. MAUVAIS-JARVIS, F. et al. Sex and gender: modifiers of health, disease, and medicine. *The Lancet*, v. 396, n. 10250, p. 565-582, 2020. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)31561-0.
31. McNULTY, P. V. et al. The effects of menstrual cycle phase on physical performance in female athletes. *Sports Medicine*, v. 50, n. 9, p. 1513-1527, 2020.
32. MENDELSON, M. E.; KARAS, R. H. Molecular and cellular basis of cardiovascular gender differences. *Science*, v. 308, n. 5728, p. 1583-1587, 2005.
33. MICHAEL, S.; GRAHAM, K. S.; DAVIS, G. M. Cardiac autonomic responses during exercise and post-exercise recovery. *Frontiers in Physiology*, v. 8, p. 1-19, 2017.
34. MILLER, A. E. et al. Gender differences in strength and muscle fiber characteristics. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, v. 66, n. 3, p. 254-262, 1993. DOI: 10.1007/BF00235103.
35. MOUNTJOY, M. et al. IOC consensus statement on relative energy deficiency in sport (RED-S): 2018 update. *British Journal of Sports Medicine*, v. 52, n. 11, p. 687-697, 2018.

36. NAKAMURA, M. et al. Effects of regular aerobic exercise on post-exercise vagal reactivation in young female. *European Journal of Sport Science*, v. 13, n. 6, p. 674-680, 2013.
37. PIERCY, K. L. et al. The Physical Activity Guidelines for Americans. *JAMA*, v. 320, n. 19, p. 2020-2028, 2018. DOI: 10.1001/jama.2018.14854.
38. PLEWS, D. J. et al. Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: opening the door to effective monitoring. *Sports Medicine*, v. 43, n. 9, p. 773-781, 2013. DOI: 10.1007/s40279-013-0071-8.
39. PORTALUPPI, F. et al. Circadian rhythms and cardiovascular health. *Sleep Medicine Reviews*, v. 16, n. 2, p. 151-166, 2012. DOI: 10.1016/j.smrv.2011.04.003.
40. QUINTANA, D. S. et al. Heart rate variability predicts alcohol craving in alcohol dependent outpatients: further evidence for HRV as a psychophysiological marker of self-regulation. *Drug and Alcohol Dependence*, v. 132, n. 1-2, p. 395-398, 2013. DOI: 10.1016/j.drugalcdep.2013.02.025.
41. REED, B. G.; CARR, B. R. The normal menstrual cycle and the control of ovulation. *Endotext*, 2018.
42. SANTORO, N.; RANDOLPH, J. F. Reproductive hormones and the menopause transition. *Obstetrics and Gynecology Clinics of North America*, v. 38, n. 3, p. 455-466, 2011. DOI: 10.1016/j.ogc.2011.05.004.
43. SCHMALENBERGER, K. M. et al. 20 years of methods and measurement in menstrual cycle research 1997-2017. *Archives of Women's Mental Health*, v. 22, p. 731-742, 2019.
44. SHAFFER, F.; GINSBERG, J. P. An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in Public Health*, v. 5, p. 1-17, 2017.
45. SHANKHWAR, V. et al. Effects of menstrual cycle on hemodynamic and autonomic responses to central hypovolemia. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, v. 11, p. 1290703, 2024. DOI: 10.3389/fcvm.2024.1290703.
46. STANLEY, J.; PEAKE, J. M.; BUCHHEIT, M. Cardiac parasympathetic reactivation following exercise. *Sports Medicine*, v. 43, n. 10, p. 937-960, 2013.
47. TAGLIAPIETRA, G. et al. Effect of menstrual cycle phase on physiological responses in healthy women at rest and during submaximal exercise at high altitude. *Scientific Reports*, v. 14, n. 1, p. 27793, 2024. DOI: 10.1038/s41598-024-79702-7.
48. TARNOPOLSKY, M. A. Nutritional consideration in the aging athlete. *Clinical Journal of Sport Medicine*, v. 18, n. 6, p. 531-538, 2008. DOI: 10.1097/JSM.0b013e318187ac44.
49. TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation*, v. 93, n. 5, p. 1043-1065, 1996.

50. TENAN, M. S. et al. Heart rate variability is altered across the menstrual cycle: a meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, v. 19, p. [dado faltante], 2016.
51. THAYER, J. F.; LANE, R. D. A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. *Journal of Affective Disorders*, v. 61, n. 3, p. 201-216, 2000.
52. THAYER, J. F.; YAMAMOTO, S. S.; BROSSCHOT, J. F. The relationship of autonomic imbalance, heart rate variability and cardiovascular disease risk factors. *International Journal of Cardiology*, v. 141, n. 2, p. 122-131, 2010.
53. WIZEMANN, T. M.; PARDUE, M.-L. (ed.). *Exploring the biological contributions to human health: does sex matter?* Washington, DC: National Academy Press, 2001.

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Efeito do Ciclo Menstrual na Modulação Autonômica Cardíaca Pós Exercício Físico

Pesquisador: Mateus Camaroti Laterza

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 80320324.9.0000.5133

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA UFJF

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 6.955.708

Apresentação do Projeto:

O estudo com mulheres em idade reprodutiva é de grande relevância, pois existem diferenças sexuais entre homens e mulheres que são fundamentais na origem do desenvolvimento da saúde e da doença, em especial, no que diz respeito à predisposição para doenças cardiovasculares. Acredita-se que o estrogênio tenha efeito cardioprotetor nas mulheres, pois esse hormônio está envolvido na regulação do sistema nervoso autonômico cardíaco, atuando na redução da atividade simpática e aumento da atividade vagal em comparação aos homens. Uma medida não invasiva da avaliação do controle autonômico cardíaco é a análise da variabilidade da frequência cardíaca (VFC), um indicador sensível e antecipado de comprometimentos na saúde, sendo uma variável que prediz o risco de doenças cardiovasculares. Em repouso, a VFC é predominantemente determinada pela atividade parassimpática, entretanto, durante uma sessão de exercício físico, a diminuição da VFC é evidenciada, com o ajuste coordenado da retirada vagal e entrada simpática aumentada no coração, de forma dependente da intensidade do esforço. Esse estresse fisiológico imposto pelo exercício físico, perdura durante o período pós-exercício. A importância de se avaliar a recuperação autonômica pós esforço, se dá pelo fato de, quanto mais lenta a recuperação da atividade autonômica cardíaca e da frequência cardíaca após o exercício, maior é o risco cardiovascular. Em mulheres, a modulação vagal cardíaca varia ao longo do ciclo menstrual, devido as flutuações hormonais que acontecem nesse período. Dessa maneira pesquisas que avaliam o impacto do ciclo menstrual na recuperação autonômica cardíaca

pós exercício físico são escassos, mesmo sabendo que as variações hormonais que ocorrem durante o período menstrual impactam o sistema nervoso autônomo. Portanto, o objetivo do estudo é avaliar a modulação autonômica cardíaca, pós exercício físico aeróbio, nas fases folicular inicial e lútea média do ciclo menstrual em mulheres em idade reprodutiva. De acordo com o cálculo amostral realizado a priori no programa GPower 3.1, serão necessárias 25 mulheres. O estudo terá desenho crossover. As voluntárias serão avaliadas no 1° ao 5° dia da menstruação (fase folicular inicial) e do 22° ao 26° dia do ciclo menstrual (fase lútea média). Serão no total 5 visitas realizadas. Na primeira visita a voluntária fará avaliação cardiológica e após liberação da médica cardiologista, responderá questionários, anamnese, identificação do ciclo menstrual e será agendada a segunda visita. A segunda visita será realizada quando a voluntária estiver na fase folicular inicial do ciclo menstrual e será composta pela avaliação da modulação autonômica cardíaca antes e após o exercício físico e pela sessão de exercício físico aeróbio, que será realizada em cicloergômetro durante 60 minutos. A terceira visita será realizada quando a voluntária estiver na fase lútea do ciclo menstrual e será composta pela avaliação da modulação autonômica cardíaca e pela sessão de exercício físico aeróbio, como descritos acima. Tanto para a segunda e terceira visitas a voluntária retornará ao laboratório no dia seguinte para retirada do equipamento CardioMapa Holter. Todas as visitas serão realizadas no período da manhã,

no setor de Avaliação Física do Hospital Universitário da Universidade Federal de Juiz de Fora (HU/UFJF). Todas as voluntárias serão orientadas previamente a não consumirem cafeína, bebidas alcoólicas, bem como não realizarem atividades físicas vigorosas nas 24 horas anteriores aos procedimentos da pesquisa. Nas visitas, as voluntárias serão orientadas a chegarem 20 minutos antes, para que seja explicado todos os procedimentos realizados.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

Avaliar a modulação autonômica cardíaca, pós exercício físico aeróbio, em diferentes fases do ciclo menstrual em mulheres em idade reprodutiva

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos:

O possível desconforto para a voluntária, será a utilização durante 24h do CardioMapa Holter e a volta ao laboratório no dia seguinte, para a entrega do mesmo. Além disso, poderá sentir leve a moderado cansaço para realização do exercício físico aeróbio. Desta forma, esse projeto de pesquisa apresenta risco mínimo para as voluntárias.

Benefícios:

Como benefícios a voluntária passará por avaliação cardiológica e física.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

O projeto está bem estruturado, delineado e fundamentado, sustenta os objetivos do estudo em sua metodologia de forma clara e objetiva, e se apresenta em consonância com os princípios éticos norteadores da ética na pesquisa científica envolvendo seres humanos elencados na resolução 466/12 do CNS e com a Norma Operacional Nº 001/2013 CNS.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

O protocolo de pesquisa está em configuração adequada, apresenta FOLHA DE ROSTO devidamente preenchida, com o título em português, identifica o patrocinador pela pesquisa, estando de acordo com as atribuições definidas na Norma Operacional CNS 001 de 2013 item 3.3 letra a; e 3.4.1 item 16. Apresenta o TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE ESCLARECIDO em linguagem clara para compreensão dos participantes, apresenta justificativa e objetivo, campo para identificação do participante, descreve de forma suficiente os procedimentos, informa que uma das vias do TCLE será entregue aos participantes, assegura a liberdade do participante recusar ou retirar o consentimento sem penalidades, garante sigilo e anonimato, explicita riscos e desconfortos esperados, ressarcimento com as despesas, indenização diante de eventuais danos decorrentes da pesquisa, contato do pesquisador e do CEP e informa que os dados da pesquisa ficarão arquivados com o pesquisador pelo período de cinco anos, de acordo com as atribuições definidas na Resolução CNS 466 de 2012, itens: IV letra b; IV.3 letras a, b, d, e, f, g e h; IV. 5 letra d e XI.2 letra f. Apresenta o INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS de forma pertinente aos objetivos delineados e preserva os participantes da pesquisa. O Pesquisador apresenta titulação e experiência compatível com o projeto de pesquisa, estando de acordo com as atribuições definidas no Manual Operacional para CPes. Apresenta DECLARAÇÃO de infraestrutura e de concordância com a realização da pesquisa de acordo com as atribuições definidas na Norma Operacional CNS 001 de 2013 item 3.3 letra h.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Diante do exposto, o projeto está aprovado, pois está de acordo com os princípios éticos norteadores da ética em pesquisa estabelecido na Res. 466/12 CNS e com a Norma Operacional Nº 001/2013 CNS, segundo este relator, aguardando a análise do Colegiado. Data prevista para o término da pesquisa: //

Considerações Finais a critério do CEP:**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BASICAS_DO_PROJETO_2353651.pdf	04/06/2024 14:38:56		Aceito
Orçamento	planilha_orcamento.pdf	04/06/2024 14:38:40	Tamiris Schaeffer Fontoura	Aceito
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BASICAS_DO_PROJETO_2353651.pdf	03/06/2024 09:27:14		Aceito
Outros	Termodeconfidencialidadeesigilo.pdf	03/06/2024 09:26:37	Tamiris Schaeffer Fontoura	Aceito
Outros	LattesDiane.pdf	03/06/2024 09:25:04	Tamiris Schaeffer Fontoura	Aceito
Outros	LattesDaniel.pdf	03/06/2024 09:24:53	Tamiris Schaeffer Fontoura	Aceito
Outros	LattesMateus.pdf	03/06/2024 09:24:40	Tamiris Schaeffer Fontoura	Aceito
Outros	LattesTamiris.pdf	03/06/2024 09:23:11	Tamiris Schaeffer Fontoura	Aceito
Outros	Carta_de_encaminhamento.pdf	03/06/2024 09:22:43	Tamiris Schaeffer Fontoura	Aceito
Outros	carta_de_anuencia.pdf	03/06/2024 09:18:14	Tamiris Schaeffer Fontoura	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	ProjetodePesquisa.pdf	03/06/2024 09:17:14	Tamiris Schaeffer Fontoura	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLEatualizado.pdf	03/06/2024 09:16:03	Tamiris Schaeffer Fontoura	Aceito
Folha de Rosto	folha_de_rosto.pdf	03/06/2024 09:15:49	Tamiris Schaeffer Fontoura	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

JUIZ DE FORA, 18 de Julho de 2024

Assinado por:

Leandro Marques de Resende (Coordenador(a))