

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Programa de Pós-graduação em Ciências do Esporte

Carlos Magno Amaral Costa

**INFLUÊNCIA DA PRIVAÇÃO DE SONO NA SIMETRIA BILATERAL E NO
COMPORTAMENTO TERMOGRÁFICO DA PELE**

Belo Horizonte
2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Programa de Pós-graduação em Ciências do Esporte

Carlos Magno Amaral Costa

**INFLUÊNCIA DA PRIVAÇÃO DE SONO NA SIMETRIA BILATERAL E NO
COMPORTAMENTO TERMOGRÁFICO DA PELE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências do Esporte.

Orientador: Prof. Dr. Marco Túlio de Mello
Coorientadora: Prof.^a Dra. Fernanda Veruska Narciso

Belo Horizonte
2020

<p>B726e 2019</p>	<p>Costa, Carlos Magno Amaral Influência da privação de sono na simetria bilateral e no comportamento termográfico da pele. [manuscrito] / Carlos Magno Amaral Costa– 2020. 112 f., enc.: il.</p> <p>Orientador: Marco Túlio de Mello Coorientadora: Fernanda Veruska Narciso</p> <p>Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. Bibliografia: f. 83-99</p> <p>1. Sono – Teses. 2. Temperatura – Teses. 3. Fisiologia – Teses. I. Mello, Marco Túlio de. II. Narciso, Fernanda Veruska. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 612:796</p>
-----------------------	--

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecário Danilo Francisco de Souza Lage, CRB 6: nº 3132, da Biblioteca da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG.

FOLHA DE APROVAÇÃO



A Dissertação intitulada "INFLUÊNCIA DA PRIVAÇÃO DE SONO NA SIMETRIA BILATERAL E NO COMPORTAMENTO TERMOGRÁFICO DA PELE", de autoria do discente Carlos Magno Amaral Costa, defendida em 03 de dezembro de 2020, na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, foi submetida à banca examinadora composta pelos professores:

Prof. Dr. Marco Tulio de Mello(orientador)
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. Dawit Albieiro Pinheiro Gonçalves
Universidade Federal de Minas Gerais

Profa. Dra. Andressa da Silva de Mello
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. Ricardo Cardoso Cassilhas
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof. Dr. João Carlos Bouzas Marins
Universidade Federal de Viçosa

Belo Horizonte, 03 de dezembro de 2020.

Faça dos objetivos um planejamento a longo prazo. Faça dos sonhos uma atitude diária

(O próprio autor)

Este trabalho foi realizado pelo Centro de Estudos em Psicobiologia e Exercícios (CEPE), com auxílio do laboratório de Fisiologia do Exercício (LAFISE) e do laboratório de Biomecânica (BIOLAB) da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, da Universidade Federal de Minas Gerais (EEFFTO/UFMG), e com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Centro Multidisciplinar em Sonolência e Acidentes (CEMSA) e Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais – Campus Rio Pomba (IF Sudeste MG).

Dedico este trabalho a minhas filhas, minha esposa, minha mãe, meu pai, meus irmãos e amigos que sempre me apoiaram e me incentivaram à conquista dos objetivos. Às instituições e às empresas pelas quais passei e aprendi a ter disciplina e dedicação. Aos meus orientadores, coorientadores e alunos que são inspirações para que eu possa ser um exemplo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, aos meus pais e irmãos, principalmente à minha mãe Maria Antonieta, a qual sempre me incentivou e me apoiou em todas as decisões.

À minha esposa e às minhas filhas, Nayara Macedo, Marina e Melina, por sempre estarem do meu lado e por entenderem os momentos de ausência para que fosse possível a realização desse trabalho. Sempre foram fundamentais na minha resiliência e na motivação para que tudo pudesse ser realizado com as melhores decisões.

Agradecimento especial ao professor Dr. Marco Túlio de Mello, que, desde o primeiro contato, acreditou neste trabalho e me incentivou a pesquisar as relações do sono com a temperatura corporal. Agradeço pelo conhecimento adquirido durante todos esses anos, como exemplo de experiência de vida e principalmente de forma de docência. “Sair da caixinha” sempre será uma reflexão a qual farei e incentivarei meus futuros alunos a fazerem.

À minha coorientadora, professora Dr.^a Fernanda Veruska Narciso, que foi muito importante na troca de informações, na organização e no conhecimento na escrita do trabalho. Agradeço pelos momentos de paciência e pelo tempo disponibilizado para o desenvolvimento do projeto.

À professora Dr.^a Andressa da Silva de Mello pela oportunidade na elaboração de projetos, na organização das reuniões científicas e na organização de congressos, esse aprendizado adquirido irá contribuir na minha atuação docente.

Ao professor Dr. João Carlos Bouzas Marins, que me acolheu e me orientou no mestrado e, desde o início, incentiva-me e apoiava-me. Agradeço também pela participação na banca de qualificação juntamente com os professores Dr. Eduardo Pimenta e Dr. Dawit Gonçalves, que contribuíram imensamente para melhoria deste trabalho.

Aos meus colegas do laboratório CEPE, Diego, Aldo, João Paulo, Valdênio, Adriana Souza, Lucas Facundo, Aline, Maria Tereza, Gilberto, Fernanda e Gustavo, pelo apoio nas coletas e durante o curso. Muito obrigado pelos momentos juntos no laboratório e nas reuniões científicas. Aos colegas do LAFISE, Alexandre Sérvulo e Rubio pela ajuda durante o estudo.

Aos participantes voluntários do presente estudo, que foram especialmente solícitos, competentes e gentis com a equipe de pesquisadores. Aos funcionários e aos demais professores da UFMG e à sociedade brasileira por custear o meu desenvolvimento acadêmico e como cidadão neste período de Universidade.

Por fim, agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Centro Multidisciplinar em Sonolência e Acidentes (CEMSA), ao Centro de Estudos em Psicobiologia e Exercícios (CEPE), ao Laboratório de Fisiologia do Exercício (LAFISE) e à Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) pelo apoio financeiro e logístico para a pesquisa. Ao Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais, no qual sou professor e tenho apoio para qualificação docente.

RESUMO

Modificações no sono podem levar às alterações na temperatura da pele e estudos que estabelecem parâmetros de controle das variáveis intervenientes na temperatura irradiada da pele (TIR_{pele}) não têm compreendido o sono. Portanto, o objetivo do estudo foi verificar a influência de 36 horas de privação de sono na simetria bilateral e no comportamento termográfico da pele de homens saudáveis. Para tal propósito, foi utilizada a análise de dados de 11 participantes, submetidos a um protocolo de rotina constante de 36 horas de vigília em ambiente controlado, a realização das imagens térmicas ocorreu a cada 3 horas em uma sala climatizada, totalizando 22 regiões corporais de interesse (RCIs). Os resultados apontam que não ocorreu diferença contralateral ($\Delta^{\circ}C$) maior que $0,5^{\circ}C$ em todas as RCI analisadas e nenhuma das RCIs analisadas apresentou diferença estatística significativa ($p>0,05$) entre os dimídios direito e esquerdo. Contudo, na análise do comportamento entre o primeiro dia, após três noites de sono habitual, e o segundo dia, após uma noite de privação de sono, os valores absolutos de TIR_{pele} no segundo dia foram maiores que no primeiro dia, apresentando diferença estatisticamente significativa ($p<0,05$) em alguns momentos. Os membros inferiores, coxas e pernas, foram as RCIs que apresentaram mais momentos de diferenças estatísticas, tanto na face anterior quanto na face posterior. Dessa maneira, conclui-se que a privação de sono não influencia na simetria contralateral da TIR_{pele} , porém a manutenção da vigília prolongada acima de 24 horas aumenta a TIR_{pele} . É importante destacar que profissionais que utilizam a termografia no esporte e na saúde precisam relatar e controlar o sono dos avaliados, a fim de evitar análises equivocadas.

Palavras-chave: Privação de sono. Termografia infravermelha. Temperatura da pele. Simetria corporal. Imagem térmica.

ABSTRACT

Several studies have established procedures for controlling the intervening variables in skin irradiated temperature ($T_{I_{skin}}$), however, it is unknown if sleep changes may affect $T_{I_{skin}}$. Therefore, the objective of the present study was to verify the effect of 36 hours of sleep deprivation on bilateral symmetry and the thermographic behavior of the skin in healthy men. For this purpose, 11 subjects were submitted to constant a routine protocol of 36 hours of vigilance in controlled environment. Thermal imaging were assessed every 3 hours in a climate-controlled room. A total of 22 interest body regions (ROIs) were analyzed. The results showed that there was no contralateral difference ($\Delta^{\circ}C$) greater than $0.5^{\circ}C$ in all the analyzed ROIs and none of the analyzed ROIs showed a statistically significant difference ($p>0.05$) between the right and left side. However, the behavior analysis showed that the second day after a night of sleep deprivation presented greater absolute values of $T_{I_{skin}}$ from the lower limbs (i.e., thighs and legs) were higher when compared to the first day after three nights of habitual sleep ($p<0.05$). Thus, it is concluded that sleep deprivation does not affect the contralateral symmetry of $T_{I_{skin}}$, but maintaining a prolonged vigil above 24 hours increases the $T_{I_{skin}}$. It is important to highlight that professionals who use thermography in sports and health need to report and control the sleep of subjects, in order to minimize bias.

Keywords: Sleep deprivation. Infrared thermography. Skin temperature. Body symmetry. Thermal images.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo adaptado dos processos reguladores do ciclo vigília-sono	21
Figura 2. Representação esquemática das três situações de interação entre o sono e a temperatura da pele	28
Figura 3. Instrumento para exame de teletermografia.....	31
Figura 4. Representação da confiabilidade no uso da termografia infravermelha.....	33
Figura 5. Assimetria da temperatura da pele identificada por neurotermografia.	35
Figura 6. Aplicação da termografia infravermelha no esporte.	42
Figura 7. Fatores influenciadores da avaliação termográfica da pele	45
Figura 8. Delineamento experimental.....	48
Figura 9. Realização da avaliação de potência aeróbia	53
Figura 10. Exemplo de um actograma de um participante.	54
Figura 11. Realização das coletas de imagens térmicas	55
Figura 12. Câmera termográfica utilizada para obtenção dos dados de termografia da pele	56
Figura 13. Diferentes RCI demarcadas manualmente	57
Figura 14. Distribuição percentual das diferenças contralaterais observadas (TIR _{pele} direita – TIR _{pele} esquerda).....	61
Figura 15. Termografia da pele da mão nas faces anterior (A) e posterior (B) nos dimídios direito (D) e esquerdo (E).	62
Figura 16. Termografia da pele do antebraço nas faces anterior (A) e posterior (B) nos dimídios direito (D) e esquerdo (E).	63
Figura 17. Termografia da pele do braço nas faces anterior (A) e posterior (B) nos dimídios direito (D) e esquerdo (E).	64
Figura 18. Termografia da pele da coxa nas faces anterior (A) e posterior (B) nos dimídios direito (D) e esquerdo (E).	66
Figura 19. Termografia da pele da perna nas faces anterior (A) e posterior (B) nos dimídios direito (D) e esquerdo (E).	67
Figura 20. Termografia da pele da região das escápulas nos dimídios direito (D) e esquerdo (E).	68
Figura 21. Termografia infravermelha.	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características antropométricas, fisiológicas e qualidade de sono dos participantes (n=11).	60
Tabela 2. Tamanho do efeito (<i>d de Cohen</i>), comparação entre os mesmos horários do primeiro e do segundo dia.....	69
Tabela 3. Valores máximos de temperatura (°C) dentro do RCI representados em média ± desvio padrão.....	72
Tabela 4. Valores mínimos de temperatura (°C) dentro do RCI representados em média ± desvio padrão.....	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	Análise de variância
ATP	Adenosina trifosfato
BPM	Batimentos por minuto
COEP	Comitê de Ética e Pesquisa
CEPE	Centro de Estudos em Psicobiologia e Exercício
Cm	Centímetros
DP	Desvio Padrão
ECC	Exercício de resistência de carga constante
EEFFTO	Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
ER	Exercícios resistidos
EUA	Estados Unidos da América
FC	Frequência cardíaca
FPA	<i>Focal Plane Array</i>
GDP	Gradiente distal-proximal
GT _{pele}	Gradiente de temperatura da pele
HPA	Eixo hipotálamo-pituitária-adrenal
IMC	Índice de massa corporal
Kg	Kilogramas
LAFISE	Laboratório de Fisiologia do Exercício
MC	Massa corporal
Min	Minutos
η^2	Eta quadrado parcial
NSQ	Núcleo supraquiasmático
POAH	Pré-óptica do hipotálamo anterior
PSQI	Questionário de Qualidade de Sono de Pittsburgh
RCI	Região corporal de interesse
RCIs	Regiões corporais de interesse
SNC	Sistema nervoso central
T _c	Temperatura corporal
T _{central}	Temperatura central
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TI	Teste com incremento de carga até exaustão

$T_{R_{pele}}$	Temperatura irradiada da pele
$T_{M_{pele}}$	Temperatura média da pele
T_{pele}	Temperatura da pele
T_{retal}	Temperatura retal
TST	Tempo total de sono
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
VO_2	Volume de oxigênio
VO_{2pico}	Consumo máximo de oxigênio (Pico)
WASO	<i>Wake Time After Sleep Onset</i>
μm	Micrómetro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivo geral	19
1.2 Objetivos específicos	19
1.3 Hipóteses	19
2 REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1 O sono.....	20
2.1.1 Ciclo sono vigília.....	20
2.1.2 Redução do sono.....	21
2.1.3 Privação de sono	22
2.2 Temperatura da pele.....	25
2.2.1 Ritmo circadiano da temperatura da pele	25
2.2.2 Temperatura da pele e sono.....	27
2.3 Temperatura irradiada da pele	30
2.3.1 Simetria bilateral da temperatura da pele	34
2.3.2 Termografia no esporte	38
2.3.3 Fatores influenciadores da avaliação termográfica da pele	43
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	46
3.1 Participantes	46
3.2 Delineamento experimental.....	47
3.2.1 Protocolo de privação de sono	48
3.3 Procedimentos	48
3.4 Avaliações	50
3.4.1 Avaliação antropométrica	50
3.4.2 Questionário de Pittsburgh	51
3.4.3 Avaliação da potência aeróbia (determinação do VO ₂ pico.)	51
3.4.4 Avaliação do tempo de vigília e ausência de cochilos	53
3.4.5 Coleta das imagens térmicas.....	55
3.4.6 Análise das imagens térmicas	56
3.4.7 Gradiente de temperatura distal-proximal (GDP).....	58
3.4.8 Mensuração da temperatura retal (Tretal)	58
3.5 Análise estatística	58
4 RESULTADOS	60
5 DISCUSSÃO	74
6 LIMITAÇÕES DO ESTUDO	80
7 IMPLICAÇÕES PRÁTICAS E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	81
8 CONCLUSÃO.....	82
REFERÊNCIAS.....	83
ANEXOS	100

1 INTRODUÇÃO

A redução do sono pode ocorrer em três situações: quando um organismo adormece mais tarde ou acorda mais cedo do que o fisiologicamente necessário; quando ocorre a fragmentação do sono com vários momentos de despertares durante o sono; ou em situações mais extremas, quando o organismo não dorme por um período prolongado e mantém-se em vigília. Essas condições de redução de sono estão associadas com uma série de desajustes fisiológicos semelhantes na sonolência, na psicomotricidade, no desempenho e nos distúrbios hormonais (BONNET e ARAND, 2003). A condição de privação de sono tem ampla variedade de efeitos no desempenho humano e no funcionamento neural que se manifestam em diferentes níveis de descrição e estão associados ao aumento dos níveis de adenosina no prosencéfalo basal, a qual é um neuromodulador que tem um efeito inibitório geral na liberação de outros neurotransmissores como o glutamato e a acetilcolina, o que reduz a excitabilidade em todo o cérebro (BOONSTRA *et al.*, 2007).

Estudos têm demonstrado associação entre os ritmos circadianos da temperatura central (T_{central}) e o sono (ARENDR, 2010; GOEL *et al.*, 2013) e, mais recentemente, (TE LINDERT e VAN SOMEREN, 2018) elucidaram também associação com a temperatura da pele (T_{pele}). Os autores descrevem que um dos três cenários que devem ser considerados ao avaliar a associação do sono com a T_{pele} é que os circuitos de ativação do sono no cérebro forneceria eferências diretas para os circuitos de termorregulação e afetariam sua atividade neuronal, ou seja, mudanças no sono levam a alterações na T_{pele} (TE LINDERT e VAN SOMEREN, 2018).

Nos últimos anos, a análise da T_{pele} por termografia infravermelha (TIR) vem crescendo na área da saúde (RING e AMMER, 2012) e no esporte (MOREIRA *et al.*, 2017), tornando-se um método importante de medição. No esporte, tem sido utilizada para prevenção e tratamento de lesões esportivas (HILDEBRANDT *et al.*, 2010; HADZIC *et al.*, 2019), detecção de dor muscular de início tardio (AL-NAKHLI *et al.*, 2012), após exercícios aeróbicos (PRIEGO QUESADA *et al.*, 2015), anaeróbicos (ADAMCZYK *et al.*, 2014), na recuperação do treinamento de força (STEWART *et al.*, 2020) e em atletas de elite de diferentes modalidades (DRZAZGA *et al.*, 2018). Seu uso é comumente realizado devido à agilidade na avaliação da T_{pele} , é um método não invasivo e não requer contato direto com o indivíduo (FERNANDES *et al.*, 2014; MOREIRA *et al.*, 2017). Devido à facilidade na captura da imagem térmica e à

posterior análise por meio da seleção das regiões corporais de interesse (RCIs), é possível realizar a avaliação das distribuições da T_{pele} simultaneamente em diferentes áreas (FOURNET *et al.*, 2013; GERRETT *et al.*, 2014). Isso também facilita a mensuração em várias regiões corporais em diferentes momentos do dia (COSTA *et al.*, 2015; COSTA *et al.*, 2018). Esses termogramas permitem identificar áreas da pele com temperaturas quentes e frias e foram utilizados em estudos para determinar diminuição da temperatura após a exposição ao frio e também no aumento T_{pele} após situação de estresse psicológico (COSTELLO *et al.*, 2012; ROBINSON *et al.*, 2016).

Na área da saúde e no esporte, uma das possibilidades do uso da TIR_{pele} para identificar possíveis patologias e lesões tem se baseado na análise da simetria bilateral da T_{pele} , essa comparação é realizada entre os seguimentos corporais esquerdo e direito (FOURNET *et al.*, 2013; MARINS *et al.*, 2014a), isso acontece porque, em condições normais, a distribuição da T_{pele} deve exibir uma simetria entre os hemisférios direito e esquerdo ao analisar, por exemplo, as mãos, os antebraços, os braços, as coxas e as pernas (SILBERSTEIN *et al.*, 1975; GREEN, 1987; HERRY e FRIZE, 2004). Portanto a simetria bilateral térmica pode ser definida como o grau de similaridade entre duas RCIs, espelhadas nos eixos principais longitudinais do corpo humano, sendo idênticos em tamanho e posição (VARDASCA *et al.*, 2012). Além disso, no esporte, também tem ocorrido para monitorar a atividade muscular, já que parece existir uma correlação entre o trabalho mecânico realizado e os processos metabólicos da produção de calor, o que permite, em esportes com características de ações musculares simétricas, avaliar o desempenho dos atletas durante o treinamento através da comparação da TIR_{pele} dessas áreas simétricas (CHUDECKA *et al.*, 2015).

De acordo com Te Lindert e Van Someren (2018), poucos estudos abordam a relação entre a privação de sono e a T_{pele} , porém a privação de sono parece alterar o controle termorregulatório, modificando o gradiente de temperatura da pele (GT_{pele}) com a perda de calor atenuada nas mãos e maior perda de calor nos pés. Os autores sugerem que essa maior perda de calor nas regiões dos membros inferiores em indivíduos privados de sono pode ser explicada pela coordenação entre as flutuações do fluxo sanguíneo da pele e a regulação cardiovascular mediada por barorreceptores. Tal fato ocorre para evitar o acúmulo venoso de sangue nos membros inferiores quando existe o desafio ortostático de uma postura ereta em vigília prolongada (ROMEIJN *et al.*, 2012).

Recentes estudos têm focado na descrição e no controle das variáveis intervenientes no uso da TIR_{pele} (FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2015; MOREIRA *et al.*, 2017). No entanto, um estudo de revisão demonstrou que poucos estudos reportaram o controle dessas variáveis (VIEGAS *et al.*, 2020), e não foram encontrados, por exemplo, estudos que tenham reportado a análise e o controle do sono dos participantes. Um outro estudo, realizado por diversos pesquisadores com expertise em TIR_{pele} , propôs a elaboração de uma lista de verificação para padronização da coleta e da análise de dados da TIR_{pele} , nessa lista de verificação não foi entendido o sono como sendo uma variável a ser controlada (MOREIRA *et al.*, 2017). Considerando que a ausência de sono modifica a temperatura corporal é importante estabelecer também a ocorrência de modificações na TIR_{pele} .

Em pesquisa realizada entre agosto e novembro de 2018, a partir das bases de dados eletrônicas *PubMed*, *Scopus*, *SportDiscus* e *Scielo* com os termos “*sleep deprivation*” AND *thermographic* OR “*sleep deprivation*” AND “*thermal imaging*” e na base de dados *Scielo* com os mesmos termos em língua portuguesa (privação de sono e termografia, privação de sono e imagem térmica), não foi possível encontrar estudos que tenham realizado a análise termográfica da pele de indivíduos privados sono. Isso reforça a originalidade do tema a ser investigado, sobre o efeito da privação de sono na TIR_{pele} .

Evidências apontam que, em dias de treinos e durante as viagens transmeridionais, bem como antes e durante as competições esportivas, a duração do sono diminui, a qualidade do sono torna-se prejudicada, e o rendimento reduz de forma significativa (LEEDER *et al.*, 2012; SARGENT *et al.*, 2014). Além disso, os distúrbios do sono e os sintomas de *Jet Lag* são muito comuns entre os atletas profissionais (WATERHOUSE *et al.*, 2002; SAMUELS, 2008) e os trabalhadores em geral (REID e ABBOTT, 2015). Essas condições especiais tem potencial para modificar a TIR_{pele} prejudicando assim uma avaliação sobre sua condição de normalidade.

Sabendo que a privação de sono pode modificar a T_{pele} , é importante estabelecer se essa condição afeta também a simetria bilateral e o comportamento termográfico da T_{pele} . Isso pode ratificar que o sono deve ser um parâmetro que deve ser considerado durante o uso da TIR_{pele} na área da saúde e do esporte, haja vista que o tempo dedicado ao sono tem reduzido bastante ao longo dos anos, e, ainda, a duração e o padrão de sono têm se modificado frente ao aumento das demandas

profissionais e às novas tecnologias (PIRES *et al.*, 2007; NATIONAL, 2009; SANTOS-SILVA *et al.*, 2010).

1.1 Objetivo geral

Verificar a influência de 36 horas de privação de sono na simetria bilateral e no comportamento termográfico da pele de homens saudáveis.

1.2 Objetivos específicos

Investigar o comportamento termográfico da pele nas regiões das mãos, dos antebraços, dos braços, das coxas, das pernas e das escápulas ao longo de 36 horas com privação de sono.

Investigar a influência do tempo acordado na simetria bilateral termográfica da pele nas regiões das mãos, dos antebraços, dos braços, das coxas, das pernas e das escápulas ao longo de 36 horas com privação de sono.

Analisar o gradiente de temperatura obtido por termografia da pele durante período de privação de sono.

Analisar o comportamento da temperatura retal durante período de privação de sono.

1.3 Hipóteses

H_0 - Não haverá efeito da privação de sono na simetria bilateral e no comportamento termográfico da pele.

H_1 - A privação de sono compromete a simetria bilateral e aumenta a temperatura termográfica da pele.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Com objetivo de melhor compreender e auxiliar no referencial teórico deste estudo, a revisão de literatura será dividida em três grandes tópicos e seus subtópicos, sendo eles: (1) O sono dividido em ciclo sono vigília, perda de sono e privação de sono; (2) Temperatura da pele dividida em ritmo circadiano da temperatura da pele e temperatura da pele e sono; (3) Temperatura termográfica da pele dividida em simetria bilateral da temperatura da pele, aplicação da termografia no esporte e fatores que influenciam a avaliação termográfica.

2.1 O sono

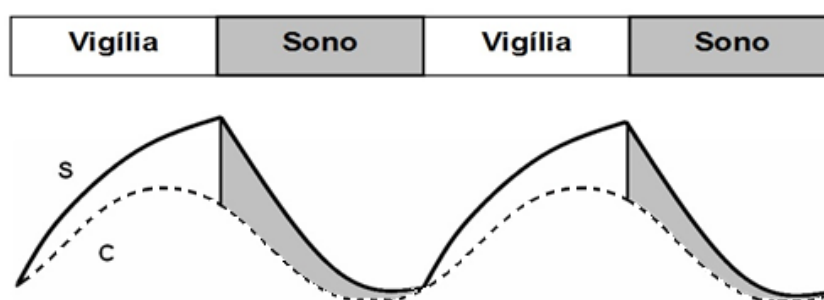
2.1.1 Ciclo sono vigília

O sono é um estado fisiológico, comportamental, essencial à vida dos seres vivos e considerado componente importante da homeostase e da termorregulação (RECHTSCHAFFEN e BERGMANN, 1995; VASSALLI e DIJK, 2009). É um componente biológico fundamental para a cognição e para a restauração da energia e do metabolismo energético cerebral (VAN CAUTER *et al.*, 2007; ZISAPEL, 2007).

O sono naturalmente ocorre quando coincide o acúmulo da pressão homeostática durante a vigília com a tendência circadiana ao sono (ZISAPEL, 2007). Portanto, a regulação funcional do ciclo vigília-sono e do alerta baseia-se no modelo de dois processos biológicos (figura 1), o homeostático (S) e o circadiano (C). O processo S (*Sleep*) ou homeostático é caracterizado por propensão ao sono, assim é explicado pelo aumento de adenosina no prosencéfalo basal ao longo do estado de vigília causado pela quebra constante do ATP, resultando em necessidade de sono e sensação de sonolência com aumento do tempo acordado (pressão homeostática do sono) (DAAN *et al.*, 1984; BORBELY *et al.*, 1989; URRY e LANDOLT, 2015). O processo C (*Circadian*) é um ritmo biológico endógeno gerado pelo sistema de temporização interna (relógio biológico) e é determinado por um ciclo de aproximadamente 24 horas que apresenta alternância de horários de maior ou menor propensão ao sono (pressão circadiana), portanto esse processo promove a vigília

durante a fase clara. e o sono, durante a fase escura (BORBELY *et al.*, 1989; BORBELY e ACHERMANN, 1992; 1999).

Figura 1. Modelo adaptado dos processos reguladores do ciclo vigília-sono



Fonte: Adaptação de Daan *et al.* (1984). O processo S representa a necessidade de sono (processo homeostático). O processo C representa a variação circadiana ao longo do dia (24h).

2.1.2 Redução do sono

A redução do sono em humanos pode ter várias origens com diferentes causas patológicas, as classificadas como distúrbios do sono, como exemplo a apneia obstrutiva do sono, e outros distúrbios, como depressão clínica, dor crônica e síndrome das pernas inquietas (BOONSTRA *et al.*, 2007).

A redução do sono também pode ser por opção de adotar voluntariamente um padrão de sono e vigília que se opõe ao desejo do corpo de descansar, por exemplo, viagens extensas que atravessam fusos horários (*Jet lag*), o trabalho no turno da noite ou por turnos (SPIEGEL *et al.*, 1999; WEINGARTEN e COLLOP, 2013; NARCISO *et al.*, 2016). Uma outra forma acontece através da indução de humanos como voluntários em investigações para determinar as consequências neurocomportamentais e fisiológicas da redução do sono (DE SOUZA *et al.*, 2017; DATTILO *et al.*, 2020; SAUVET *et al.*, 2020).

É comum encontrarmos na literatura três diferentes situações de redução do sono. De acordo com Boonstra *et al.* (2007), a primeira é quando a redução do sono refere-se a uma situação em que um organismo adormece mais tarde do que o normal ou acorda mais cedo do que o exigido pelas suas necessidades fisiológicas. A

segunda está relacionada à fragmentação do sono e refere-se ao caso em que um organismo pode dormir, mas acorda e adormece novamente em certos momentos e intervalos. Em geral, a fragmentação do sono constitui um sintoma clínico, mas também pode ser induzido experimentalmente em indivíduos saudáveis. Finalmente, a terceira situação é a privação de sono que pode ser considerada um caso extremo de redução do sono, ou seja, quando um organismo simplesmente fica em vigília por um período prolongado de tempo e ocorre por uma ou mais noites. Segundo os autores, a distinção entre restrição do sono, fragmentação do sono e privação do sono serve principalmente como uma heurística útil, e não se supõe que implique efeitos neurocomportamentais qualitativamente diferentes (BOONSTRA *et al.*, 2007).

É importante destacar que todas as diferentes situações de redução do sono podem levar a efeitos muito semelhantes na sonolência, no desempenho psicomotor e nos distúrbios hormonais (BONNET e ARAND, 2003). A redução crônica de sono está se tornando cada vez mais comum e afeta milhões de pessoas, especialmente em países mais desenvolvidos, onde o débito de sono provavelmente se deve ao aumento do horário de trabalho em diversas profissões, como os médicos (LEONARD *et al.*, 1998), os motoristas profissionais (NARCISO e MELLO, 2017) e os atletas (RODRIGUES *et al.*, 2017; VITALE *et al.*, 2019).

2.1.3 Privação de sono

A privação de sono tem ampla variedade de efeitos no desempenho humano e no funcionamento neural que se manifestam em diferentes níveis. Em nível microscópico, a privação de sono está associada ao aumento dos níveis de adenosina no prosencéfalo basal, a qual é um neuromodulador que tem um efeito inibitório geral na liberação de outros neurotransmissores como glutamato e acetilcolina, dessa forma reduz a excitabilidade em todo o cérebro (BOONSTRA *et al.*, 2007). Estudos revelaram que uma noite de privação do sono gerou menor ativação das áreas pré-frontais do cérebro (DRUMMOND *et al.*, 1999; THOMAS *et al.*, 2000), as quais apresentaram baixos níveis de atividade do SNC relacionados à cognição, à atenção e ao controle motor, prejudicando as funções executivas, cognitivas e neuromotoras (FREY *et al.*, 2004), e também trazem consequências deletérias para a consolidação da memória motora (PEIGNEUX *et al.*, 2001).

Alterações negativas importantes no sistema imunológico também são resultantes de situações de privação do sono, elas são mediadas pela atividade aumentada do eixo hipotálamo-pituitária-adrenal (HPA) e/ou do sistema nervoso simpático (PALMA *et al.*, 2007). A redução prolongada do sono e a resposta ao estresse que a acompanha causam uma produção inespecífica persistente de citocinas pró-inflamatórias, descritas como inflamação crônica de baixo grau, e também produzem imunodeficiência, que têm efeitos prejudiciais à saúde (BESEDOVSKY *et al.*, 2012). Irwin *et al.* (2016) realizaram uma revisão de literatura com objetivos de avaliar através de meta-análise a evidência da ligação entre o distúrbio de sono, a restrição de sono e a privação de sono com marcadores circulatórios de inflamação em adultos, destacaram que os distúrbios do sono estão associados com níveis mais elevados de proteína C reativa (ES = 0,12; IC95% = 0,05-0,19) e interleucina-6 (ES 0,20; IC95% = 0,08-0,31) mas não com o TNF- α , porém também destacaram que a restrição do sono e a privação do sono por protocolos experimentais não foram associados com a proteína C reativa, com a interleucina-6 e com o TNF- α (IRWIN *et al.*, 2016).

Além disso, importantes alterações endócrinas, como a redução de níveis hormonais de testosterona, androstenodiona, di-hidrotestosterona e estradiol, foram encontradas em homens saudáveis durante 24 horas de privação de sono (GONZALEZ-SANTOS *et al.*, 1989). Outro estudo realizado com indivíduos privados de sono durante 33 horas também encontrou redução significativa nos níveis de testosterona em homens (COTE *et al.*, 2013). Embora alguns estudos não tenham encontrado efeito significativo do cortisol durante a privação do sono (CORTES-GALLEGOS *et al.*, 1983; LEPROULT e VAN CAUTER, 2011), outros pesquisadores têm observado aumento desse hormônio em uma única noite de privação de sono e também durante cinco dias de privação de sono (LEPROULT *et al.*, 1997; REYNOLDS *et al.*, 2012).

Em relação ao desempenho e à aptidão física, algumas pesquisas têm comprovado o efeito negativo da privação de sono, em especial na potência aeróbia e na força muscular (SOUISSI *et al.*, 2003; OLIVER *et al.*, 2009; FULLAGAR *et al.*, 2015). Do mesmo modo, pesquisadores reportaram que a diminuição da força e do trofismo muscular, assim como o aumento da fadiga neuromuscular parecem interferir no controle motor e prejudicar o desempenho nas tarefas exercidas (GRIBBLE e HERTEL, 2004; GRIBBLE *et al.*, 2004; VUILLERME *et al.*, 2009). Oliver *et al.*(2009),

ao analisar o desempenho em um teste de 30 minutos de corrida em esteira, verificaram que homens privados de sono durante 30 horas apresentaram uma redução significativa ($p = 0,016$, $d = 0,23$) no desempenho em teste de corrida de 30 minutos com intensidade auto selecionada, a distância média percorrida na condição privação de sono foi de 6.037 metros, enquanto na situação controle, quando era permitido uma noite normal de sono, a distância média percorrida foi de 6.224 metros.

Alterações na temperatura corporal (T_c) também têm sido demonstradas em alguns estudos com indivíduos privados de sono. Nesse sentido, Davis *et al.* (2014) avaliaram 12 indivíduos durante 36 horas de privação de sono durante um evento de ultra resistência, no qual os participantes realizavam diversas tarefas no menor tempo possível, e encontraram comprometimento da função cognitiva que foi associado à queda da temperatura timpânica, os autores sugerem que a privação de sono altera diretamente a cognição em virtude da diminuição da T_c . Outros estudos também demonstram que a T_c pode sofrer alterações ou mascaramentos em situações de privação de sono e de *Jet lag* (ARENDR, 2010; GOEL *et al.*, 2013).

Diversos estudos têm identificado modificações no controle termorregulatório em ambientes de baixa temperatura, os resultados apontam que humanos privados de sono são mais vulneráveis à perda de calor durante os desafios térmicos no frio (OPSTAD e BAHR, 1991; SAVOUREY e BITTEL, 1994; YOUNG *et al.*, 1998; SAUVET *et al.*, 2012). Em relação ao ambiente quente, estudo que analisou a resposta da T_c durante o exercício físico em indivíduos privados de sono demonstrou uma maior elevação da T_c em indivíduos vespertinos quando foram forçados a dormir fora da sua fase circadiana, o que demonstrou diferentes respostas da T_c de acordo com o cronotipo (MUGINSHTEIN-SIMKOVITCH *et al.*, 2015). Outro estudo investigou o efeito da sazonalidade e da privação do sono na termorregulação durante a imersão das pernas em água quente, os autores mostraram que a privação do sono aumentou a dissipação de calor e a temperatura média da pele (TM_{pele}), mas restringiu as mudanças de temperatura retal (T_{retal}), apesar da diminuição da taxa de sudorese total (FUJITA *et al.*, 2003).

Estudo realizado por Sawka *et al.* (1984) investigou modificações na taxa de sudorese e na condutância térmica em sujeitos privados de sono que foram submetidos a um protocolo de exercício físico de intensidade moderada. Os autores observaram que a privação de sono alterou a magnitude da resposta da taxa de sudorese ao aumento da T_c durante o exercício, a redução total da taxa de sudorese

corporal e da região do peito no final do exercício foi de 27 e 19%, respectivamente. Tais modificações foram atribuídas a uma possível alteração no “*set-point*” de controle da T_c . Com isso, os autores especularam que a privação de sono poderia ter alterado as concentrações das monoaminas 5-hidroxitriptamina e norepinefrina na região do hipotálamo, o que justificaria a modificação no controle central da termorregulação. Uma outra possibilidade apontada pelos autores foi uma provável alteração do sinal efetor após o seu início no hipotálamo, fato que resultaria na dessincronização observada na taxa de sudorese do peito e na redução na resposta do suor. O outro estudo foi realizado por Kolka e Stepheson (1988), em que os participantes pedalarão por 30 minutos a 60% VO_{2pico} após condição de sono normal e após 33 horas de privação de sono. Os autores observaram que não houve diferença significativa na temperatura esofágica e na T_{pele} do antebraço, porém ocorreu diminuição da vasodilatação reflexa cutânea durante o exercício físico, que, segundo os autores, pode ter ocorrido tanto por fatores locais quanto centrais.

O estudo de Romeijn *et al.* (2012) também demonstra alterações no controle termorregulatórios. A privação de sono modificou o gradiente de temperatura da pele (GT_{pele}) com a perda de calor atenuada nas mãos e maior perda de calor nos pés. Os autores justificam que pessoas privadas de sono que tentam ficar acordadas normalmente experimentam o desafio ortostático de estar em posição ereta, o que resulta na descarga do reflexo barorreceptor que regula o fluxo sanguíneo para prevenir o acúmulo venoso de sangue nos membros inferiores. Isso foi relatado pelo fato de o estudo de Krauchi *et al.* (2006) ter investigado o efeito da privação de sono no GT_{pele} (distal-proximal) em indivíduos que mantiveram uma posição semisupina. Os resultados encontrados, por sua vez, não demonstraram efeitos da privação do sono no sistema termoregulador.

2.2 Temperatura da pele

2.2.1 Ritmo circadiano da temperatura da pele

Algumas das oscilações fisiológicas ocorrem ao longo do tempo em um formato de onda reproduzível, apresentando periodicidade próxima de 24 horas

(circadiano), mas também existem situações de períodos inferiores ou superiores a 24 horas (infradiano e ultradiano). A luz visível é considerada responsável pelo arrastamento do relógio biológico e age através da retina. Essa luz atua para redefinir o marcapasso central localizado no NSQ no hipotálamo anterior e, a partir dele, inicia sinais hormonais e neuronais que coordenam as oscilações nos processos fisiológicos em todo o corpo (MATSUI *et al.*, 2016). Como a pele é um órgão exposto ao ambiente externo, várias funções, entre elas a resposta ao ambiente, são reguladas e sincronizadas por oscilações acionadas centralmente e podem ser redefinidas localmente através da exposição a estímulos como radiação ultravioleta, poluentes, umidade do ar e flutuações na temperatura ambiente (MATSUI *et al.*, 2016). Em condições normais e em indivíduos saudáveis, o estudo de Yosipovitch *et al.* (1998) relatou que alguns atributos da fisiologia da pele humana seguem uma periodicidade, além da T_{pele} do antebraço, da testa e da perna, o estudo ainda reportou, através da análise de cosinor, a ocorrência de variação circadiana estatisticamente significativa da perda de água transepidermica e do pH da superfície, sugerindo que a permeabilidade da pele é mais alta no período da tarde e da noite do que no período da manhã.

A influência dos ritmos circadianos nas oscilações da T_c também está relacionada com a ação do NSQ sobre os centros hipotalâmicos de termorregulação, alterando os limiares para vasodilatação cutânea e sudorese. Com relação à neuroanatomia funcional subjacente ao ritmo circadiano da T_{pele} , foi demonstrado que as projeções do NSQ na zona subparaventricular hipotalâmica mediam a modulação circadiana da termorregulação (LU *et al.*, 2001). Nos seres humanos, a melatonina circulante resulta na vasodilatação periférica, o efeito da melatonina no fluxo sanguíneo da pele pode atuar tanto através de receptores de melatonina na área pré-óptica do hipotálamo anterior (POAH) quanto dos receptores no endotélio vascular (URATA *et al.*, 1999; DUBOCOVICH e MARKOWSKA, 2005; AOKI *et al.*, 2006; AOKI *et al.*, 2008).

Durante o ritmo circadiano, na condição de repouso em ambiente termoneutro, o mecanismo termorregulatório mais evidente é a perda de calor, sendo encontrada pouca influência do mecanismo de produção de calor metabólico (WEINERT e WATERHOUSE, 2007). Esse ritmo circadiano da perda de calor ocorre devido a modificações na T_{pele} com predominância nos membros distais. Nesses locais, os ritmos de temperatura e de fluxo de sangue apresentam maiores valores no

final da noite, horário em que a T_{central} está diminuindo com mais rapidez, e valores mais baixos no período da manhã, horário em que a T_{central} está aumentando mais rapidamente, nas regiões do tronco a T_{pele} mostra uma fase circadiana mais próxima da T_{central} (SMOLANDER *et al.*, 1993).

Uma menor variabilidade de T_{pele} na região central do corpo pode ser considerada como normal, haja vista a concentração dos grandes órgãos nas regiões abdominal e torácica, que, em condições de repouso, são os principais produtores de calor (CAMPBELL, 2011). Aschoff (1983) já havia descrito pequenas variações da T_{pele} na região do peito e do braço e grandes oscilações na região das mãos, com pico de valores máximos aproximadamente às 22 horas, quando inicia o declínio da T_{retal} . Esses achados foram corroborados por Krauchi *et al.* (1994), que avaliaram um período de 34 horas de indivíduos em rotina constante, os resultados demonstraram que as T_{pele} de regiões proximais (região infraclavicular, coxa e testa) seguiram o mesmo ritmo circadiano que a T_{retal} , enquanto as T_{pele} das regiões distais (mãos e pés) tiveram um comportamento oposto na fase.

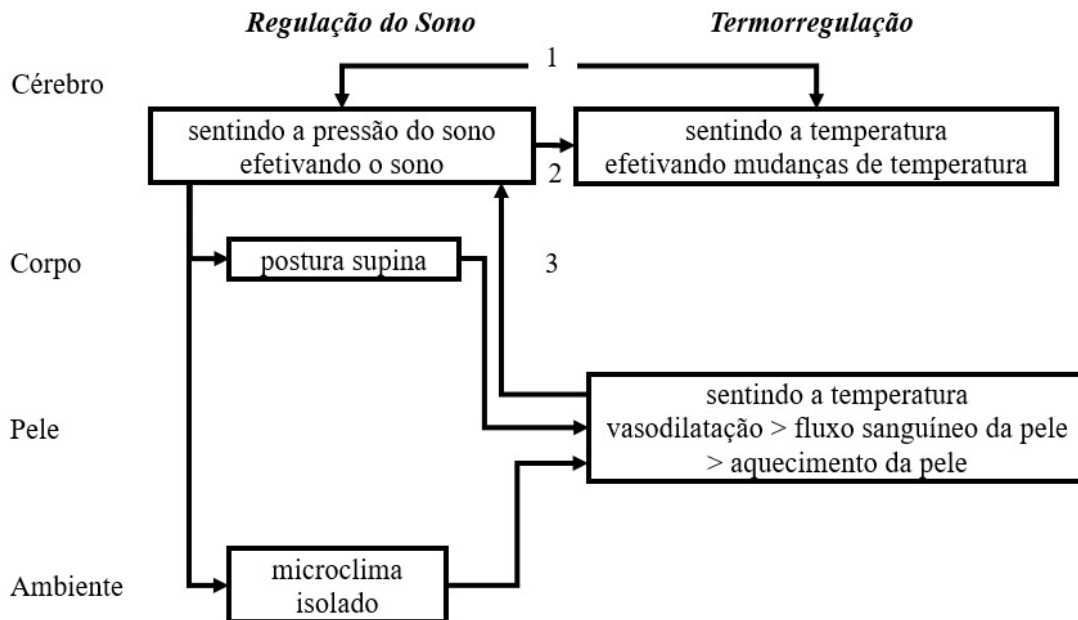
Um estudo recente realizado com homens (COSTA *et al.*, 2015) utilizou a mensuração da T_{IRpele} e demonstrou que diferentes regiões corporais se manifestam com diferentes oscilações diárias. A constatação foi obtida ao mensurar 25 RCI no mesmo momento, o estudo utilizou um protocolo de rotina constante em ambiente termoneutro, os indivíduos tiveram uma noite de sono normal e, após, foram avaliados durante o dia, a cada 4 horas das 7 às 23 horas. Os resultados fornecem informações de valores absolutos de T_{pele} e TM_{pele} mais baixos no início da manhã e valores mais altos à noite; na maioria das RCIs analisadas, o pico ficou entre 17 e 19 horas, porém os ritmos diários foram diferentes ao analisar a ocorrência de diferentes horários de acrofase.

2.2.2 Temperatura da pele e sono

Como a T_{central} , a T_{pele} também apresenta um ritmo circadiano em sincronia com o ritmo sono-vigília, ou seja, o momento em declínio da T_{central} é determinado principalmente por um aumento do fluxo sanguíneo da pele (TE LINDERT e VAN SOMEREN, 2018), e esse aumento do fluxo resulta em uma T_{pele} mais alta, o que facilita a perda de calor no meio ambiente (KRAUCHI e WIRZ-JUSTICE, 1994).

A interação entre a T_{pele} e o sono pode ocorrer em três situações diferentes (Figura 2), e essas devem ser consideradas ao avaliar essa interação. A primeira situação (1) é quando alterações no sono e na T_{pele} ocorrem através do circuito cerebral, assim as alterações em ambos são motivadas por alterações em uma terceira variável comum entre os dois. Na segunda situação (2), mudanças no sono podem acarretar modificações na T_{pele} . A terceira situação (3) está relacionada a mudanças na T_{pele} , que afetariam a propensão ao sono (TE LINDERT e VAN SOMEREN, 2018).

Figura 2. Representação esquemática das três situações de interação entre o sono e a temperatura da pele



Fonte: Adaptado de Te Lindert e Van Someren (2018). De cima para baixo, o esquema mostra os níveis de cérebro, corpo, pele e ambiente. Regulação do sono e termorregulação são mostradas como colunas lado a lado

Importante destacar que cada uma dessas situações pode gerar previsões diferentes para o resultado de estudos experimentais, nos quais manipulam o sono, a T_{pele} ou ambos (TE LINDERT e VAN SOMEREN, 2018). Contudo, a ênfase desse estudo ocorre na segunda situação, ao analisar a privação de sono e a T_{pele} , visto que os circuitos do cérebro que afetam o sono podem fornecer eferentes diretos aos circuitos termorregulatórios e comprometer sua atividade neuronal (TE LINDERT e VAN SOMEREN, 2018).

Algumas situações práticas citada por Te Lindert e Van Someren (2018), como a observação das orelhas e das bochechas vermelhas em crianças cansadas e a queixa de frio como se realmente estivesse ocorrendo a perda de calor após privação de sono, sugerem que a propensão do sono aumenta o fluxo sanguíneo da pele e, conseqüentemente, a T_{pele} nas regiões distais, que estão mais fortemente envolvidas na regulação da perda de calor devido à sua riqueza em anastomoses arteriovenosas. Porém, apesar de serem observações comuns, relativamente poucos estudos experimentais investigaram sistematicamente como a propensão ao sono afeta a T_{pele} em condições termoneutras confortáveis (TE LINDERT e VAN SOMEREN, 2018).

Ao observar as condições comportamentais na promoção da vigília, como a luz, a posição corporal e a alimentação, essas têm em comum a tendência de associação com uma menor T_{pele} (TE LINDERT e VAN SOMEREN, 2018). É possível encontrar essas modificações da temperatura em estudos que investigaram a mudança da postura entre as posições de pé para supina (TIKUISIS e DUCHARME, 1996; NAKAJIMA *et al.*, 2002). Em um outro estudo, essas modificações foram determinadas através da influência da luz na diminuição do GT_{pele} (distal-proximal), que é considerada uma medida para análise do grau de vasoconstrição (CAJOCHEN *et al.*, 2005). Também demonstrando a influência da luz, outro estudo avaliou o amanhecer artificial, os resultados demonstram que essa condição acelerou o declínio da T_{pele} e também do GT_{pele} (distal-proximal) no momento seguinte ao levantar (VAN DE WERKEN *et al.*, 2010).

Segundo Te Lindert e Van Someren (2018), assim como as condições comportamentais promotoras da vigília estão associadas à menor T_{pele} , as condições permissivas ao sono demonstram uma situação inversa, apresentando uma maior T_{pele} , o que pode sugerir uma maior probabilidade ao sono. Estudo com a ingestão de alimento rico em carboidratos no período noturno demonstrou aumentar a perda de calor através do aumento no fluxo sanguíneo e da T_{pele} na região distal, algo que parece ser relevante para a propensão ao sono antes de apagar a luz (KRAUCHI *et al.*, 2000).

2.3 Temperatura irradiada da pele

A energia de calor humano é transferida para o ambiente através de quatro mecanismos: a condução através da transferência de energia térmica da camada tecidual por contato entre dois corpos de temperaturas diferentes; a convecção pela mudança de calor entre a pele e o ambiente; a evaporação do suor, a qual é o principal mecanismo para dissipação de calor durante o exercício, a conversão de líquido em vapor permite que o corpo regule sua temperatura; a radiação que ocorre através da transferência de calor que não exige um meio, a energia é transferida entre dois objetos separados a temperaturas diferentes através de ondas eletromagnéticas (fótons) (HILDEBRANDT *et al.*, 2010).

A transferência de calor por radiação é de grande valor na medicina, e a maior parte dela ocorre no infravermelho, que pode ser visualizada por imagem térmica eletrônica. A superfície do corpo humano, a pele, é um radiador eficiente que está muito próximo de um corpo preto perfeito e, por isso, apresenta uma capacidade de emissão de energia por radiação (emissividade) de 0,98 (JONES, 1998; RING, 2006; RING e AMMER, 2012; MOREIRA *et al.*, 2017).

A primeira observação experimental de radiações infravermelhas foi realizada por William Herschel em 1781. A partir dessas investigações, ocorreram grandes evoluções nos progressos na termologia, e, durante a década de 1960, a emissão infravermelha da pele passa a ser adotada como uma nova ferramenta de diagnóstico (COLLINS e COSH, 1970). Para evitar várias dificuldades práticas e melhorar a qualidade do exame, foi desenvolvida uma técnica chamada de teletermografia (figura 3), que contribuiria para a precisão do diagnóstico, o método demonstrava claramente alterações térmicas, especialmente em processos inflamatórios, degenerativos e proliferativos, e foi recomendado como auxiliar ao exame clínico completo (GARAGIOLA e GIANI, 1990).

Figura 3. Instrumento para exame de teletermografía



Fonte: Garagiola & Giani (1990)

A Associação Europeia de Termografia foi formada em 1972, e a primeira grande conferência em termologia médica foi realizada em Amsterdã em 1974 (RING e AMMER, 2000). O diagnóstico médico por infravermelho usa o fato de que muitos processos patológicos no organismo humano se manifestam como mudanças locais na produção de calor e também como alterações no padrão do fluxo sanguíneo nos órgãos ou nos tecidos afetados (VAINER, 2005).

A geração dessas imagens térmicas foi utilizada para estudar várias doenças em que a T_{pele} pode refletir a presença de inflamação nos tecidos subjacentes ou em que o fluxo sanguíneo é aumentado ou diminuído devido a uma anormalidade clínica, a princípio elas são aplicadas na medicina como teste de diagnóstico ou como medida de resultado para ensaios clínicos (RING e AMMER, 2012).

Um das aplicações mais interessantes da TIR_{pele} na medicina baseia-se na detecção da maior atividade metabólica e no diagnóstico auxiliar dos carcinomas (NG *et al.*, 2001; UMADEVI *et al.*, 2011), através também da detecção de alterações na perfusão sanguínea que podem ocorrer devido a inflamação, angiogênese ou outras causas patológicas (MORALES-CERVANTES *et al.*, 2018). Ainda que a uso da TIR_{pele} no câncer de mama seja mais evidente, outras patologias também têm utilizado a detecção de padrões anormais de temperatura, o diabetes, por exemplo, é uma doença metabólica com alterações na T_{pele} dos pés e das mãos devido à hiperglicemia causada pela deficiência de insulina, assim a diminuição da T_{pele} permite a detecção

precoce do diabetes, essa diminuição pode ser consequência de uma menor taxa metabólica basal, diminuição da perfusão de sangue e alta resistência à insulina (LAHIRI *et al.*, 2012; SIVANANDAM *et al.*, 2012).

Lahiri *et al.* (LAHIRI *et al.*, 2012) realizaram um estudo de revisão da aplicação da TIR_{pele} na área médica e demonstraram que a técnica foi utilizada com sucesso em casos de diagnóstico de câncer de mama, neuropatia diabética e distúrbios vasculares periféricos. Também foi usado para detectar problemas associados à ginecologia, ao transplante de rim, à dermatologia, à cardiologia, à fisiologia neonatal, à triagem de febre e à imagem cerebral. Os autores ainda destacam que, com o advento das modernas câmeras infravermelhas, das técnicas de aquisição e do processamento de dados, agora é possível obter imagens termográficas de alta resolução em tempo real, o que provavelmente aumentará ainda mais as pesquisas nesse campo. Os esforços atuais estão focados na análise automática da distribuição de T_{pele} nas RCI e sua análise estatística para detecção de anormalidades (LAHIRI *et al.*, 2012).

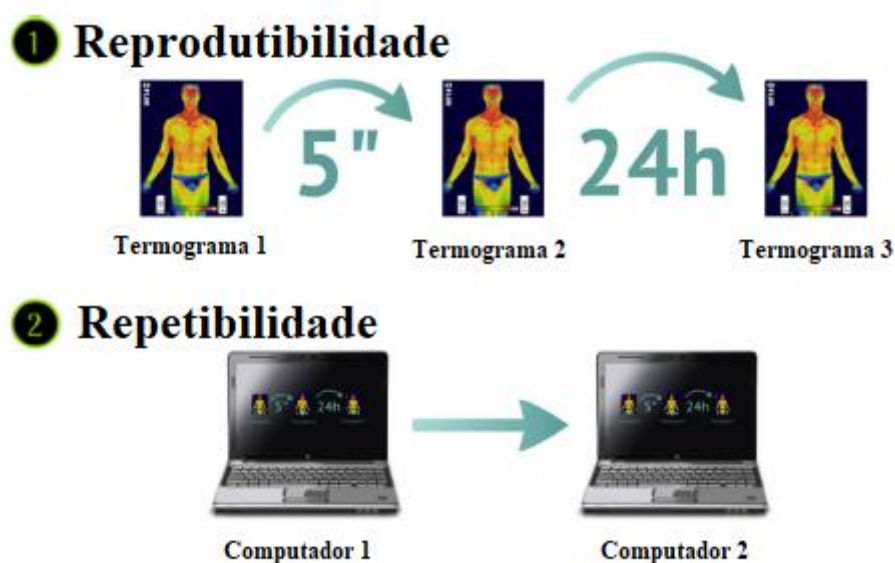
O avanço na imagem térmica moderna torna disponível pequenos sistemas de câmeras confiáveis que podem armazenar imagens digitais ou podem ser usados on-line com um computador portátil ou de mesa. Várias técnicas avançadas de processamento de imagem estão disponíveis para ajudar o operador a obter imagens padronizadas e quantificáveis da distribuição de temperatura. Dessa forma, o conhecimento das aplicações práticas para imagens térmicas e o fornecimento de sistemas modernos de imagens melhoraram drasticamente nos últimos anos (RING, 2006; MOREIRA *et al.*, 2017; VIEGAS *et al.*, 2020).

Nessa perspectiva, o estudo da temperatura irradiada tem amplas aplicações na ciência e na indústria. A imagem térmica oferece a grande vantagem da medição de temperatura bidimensional em tempo real. Com a tecnologia moderna, uma única imagem pode conter milhares de pontos de temperatura registrados em uma fração de segundo (RING e AMMER, 2012). Isso torna a termografia mais viável para monitoramento de T_{pele} do que o uso de termopares de contato, pois essa técnica de monitoramento possui como característica registrar apenas a temperatura no ponto de contato do sensor, não permitindo leitura sobre a temperatura na maior parte do segmento monitorado. Um exemplo é o estudo realizado por de Hunold *et al.* (1992), cujos resultados demonstram que, dentro da distância de alguns centímetros, podem ser encontradas diferenças superiores a 3°C na T_{pele} e diferenças na microcirculação

da pele em até 300%. Outros estudos comparando as mensurações de T_{pele} por termopares e termografia demonstraram que não há concordância entre métodos (FERNANDES *et al.*, 2014; BACH *et al.*, 2015). Desse modo, dependendo do posicionamento do sensor, diferentes valores de T_{pele} podem ser registrados e dificultar a comparação entre os estudos. Além disso, a termografia é um procedimento não invasivo e sem contato físico com o avaliado, com destaque para uma análise imediata, de forma geral ou específica em uma determinada parte do corpo (MOREIRA *et al.*, 2017).

Em relação a validade e confiabilidade, a partir da emissão de radiação infravermelha, a termografia apresenta a capacidade de estimar a T_{pele} e, por isso, é considerada uma técnica válida, além de apresentar reprodutibilidade na medida repetida ao longo do tempo e repetibilidade quando utilizado o mesmo procedimento ou entre diferentes avaliadores, conforme representado na figura 4 (SELFE *et al.*, 2006; FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2015). Importante destacar que a comparação bilateral de 45 RCIs emparelhadas também demonstrou boa reprodutibilidade entre dois avaliadores (ZAPROUDINA *et al.*, 2008), isso sugere o uso seguro da técnica para comparação bilateral.

Figura 4. Representação da confiabilidade no uso da termografia infravermelha



Fonte: Adaptado de Fernández-Cuevas *et al.* (2015)

2.3.1 Simetria bilateral da temperatura da pele

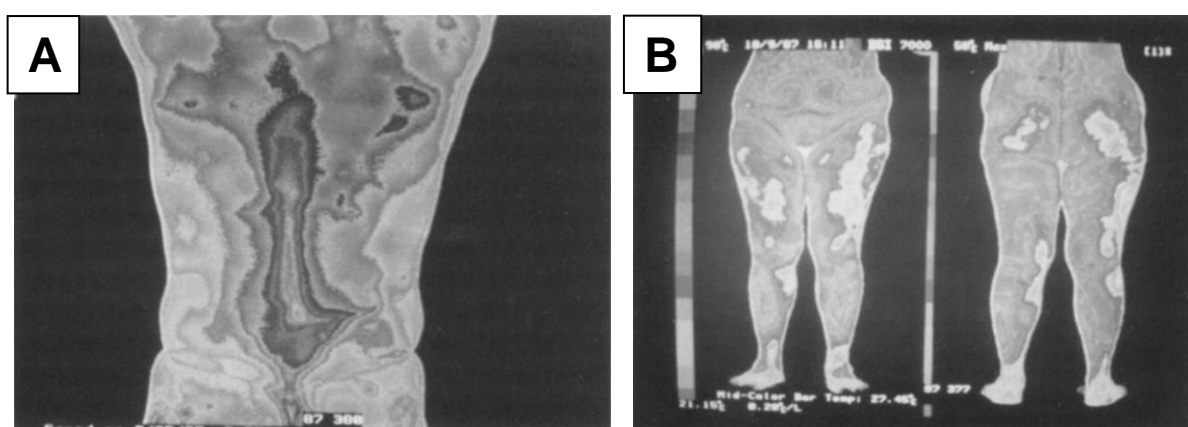
A simetria bilateral da T_{pele} foi inicialmente proposta por Freeman *et al.* (1937). Os autores utilizaram pela primeira vez uma sala climatizada e dezenove pontos fixados por termopares, os resultados demonstraram que os lados do corpo apresentavam diferenças de T_{pele} , apesar de bastante pequenas. Dois terços dos locais foram estatisticamente significativos, com algumas regiões apresentando o lado direito com temperatura mais alta e outras regiões apresentando o lado esquerdo com temperatura mais alta.

Silberstein *et al.* (1975) utilizam um método antigo de avaliação da T_{pele} através de scanner infravermelho empregando óptica reflexiva e um detector de antimônio de índio resfriado a nitrogênio líquido para definir a variação em áreas selecionadas simetricamente do corpo. Os autores selecionaram essas áreas na região anterior e na posterior do tórax, no abdômen e na região lombo-sacra de indivíduos normais e encontraram resultados que definiram como variação normal de temperatura entre áreas simétricas, não encontrando diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$). Contudo, eles apresentaram uma sugestão de que a assimetria superior a 1°C pode ser um indicativo de anormalidade. Importante destacar que nesse estudo os autores não utilizaram regiões apendiculares, sendo analisadas apenas regiões próximas do tronco. Ao analisarmos ambos os estudos (FREEMAN *et al.*, 1937; SILBERSTEIN *et al.*, 1975), é perceptível que valores de T_{pele} mensurados pelos métodos de condução (termopares) e irradiação (termografia), já apresentavam resultados conflitantes na simetria da T_{pele} .

Green (1987) descreveu a neurotermografia como um novo método para avaliar a integridade do sistema nervoso autônomo periférico, baseado na premissa da simetria da T_{pele} , o autor afirmou que, se o corpo é submetido a uma temperatura externa mais baixa, a preservação da $T_{central}$ é realizada afastando o fluxo de sangue dos vasos sanguíneos da camada da derme para as estruturas mais profundas, formando um isolamento contra a temperatura externa mais fria. Se houver uma disfunção significativa do nervo autonômico periférico, isso causará uma assimetria persistente e facilmente detectável pela T_{pele} . Portanto, para o autor, a simetria corporal da T_{pele} é mantida pelos nervos periféricos simetricamente funcionais, uma assimetria persistente de temperatura de 1°C é um método confiável para detectar distúrbios do nervo periférico autônomo. O estudo de Uematsu (1985) ratifica essas

afirmações, já que o autor também encontrou em pessoas sem lesão nervosa uma pequena diferença de T_{pele} entre os lados do corpo ($0,24^{\circ}\pm 0,073^{\circ}\text{C}$), em contraste, em pacientes com lesão de nervo periférico, a T_{pele} inervada pelo nervo lesionado apresenta uma diferença média de $1,55^{\circ}\text{C}$ ($p < 0,001$). A figura 5 mostra duas imagens como exemplos de modificações da simetria da T_{pele} identificadas por neurotermografia.

Figura 5. Assimetria da temperatura da pele identificada por neurotermografia.



(A) Paciente com dor lombar. Núcleo pulposo herniado, L5 lado direito. Diferença de calor à direita.
 (B) Paciente com dor ciática direita. Disco S1 à direita. Diferença de calor ciática à direita
 Fonte: Green (1987).

Um estudo recente procurou identificar diferenças significativas entre os padrões de TIR_{pele} de mãos e pés em uma população adulta saudável, e os resultados ratificam a existência de simetria geral na T_{pele} entre as mesmas regiões nos membros contralaterais, em termos de magnitude e padrão (GATT *et al.*, 2015). Um estudo realizado no Brasil com participantes de ambos os sexos ($n=20$ homens e $n=20$ mulheres), também identificou um padrão de normalidade de diferença bilateral usualmente inferior aos $0,5^{\circ}\text{C}$ (MARINS *et al.*, 2015b).

Além das modificações na simetria da T_{pele} devido a lesões nervosas periféricas, as anormalidades como doenças malignas, as inflamações e as infecções causam aumentos localizados de temperatura que aparecem como pontos quentes ou como padrões assimétricos em um termograma de infravermelho (JONES, 1998).

A simetria térmica é definida como o grau de similaridade entre duas RCIs, espelhadas nos eixos principais longitudinais do corpo humano, sendo idênticos em

tamanho e posição (VARDASCA *et al.*, 2012). No esporte, a análise de simetria tem sido utilizada para prevenção de lesões e de doenças ortopédicas (HILDEBRANDT *et al.*, 2010; HADZIC *et al.*, 2019) e também para monitorar a atividade muscular, baseado na premissa da existência da correlação entre o trabalho mecânico realizado e os processos metabólicos da produção de calor (CHUDECKA *et al.*, 2015).

Essas análises consideram que, em um estado fisiológico normal, a T_{pele} é semelhante entre os lados do corpo (HERRY e FRIZE, 2004). Os esportes com características de ações musculares simétricas também podem auxiliar na análise de desempenho dos atletas, porque as informações de T_{pele} podem determinar a simetria da atividade muscular e, a partir dessas informações, melhorar o movimento, a técnica e a coordenação motora (CHUDECKA *et al.*, 2015). A temperatura periférica do corpo humano depende da transferência de calor do tecido e do fluxo sanguíneo, isso permite estudar distúrbios neurológicos musculoesqueléticos (RING, 1990) que causam mudanças na geração e no transporte de calor corporal para a pele. Essas mudanças podem se manifestar como variações da simetria normal da temperatura contralateral padrão encontrada em indivíduos saudáveis (VARDASCA *et al.*, 2012).

É notável que o aperfeiçoamento dos equipamentos de termografia infravermelha que apresentam mensurações mais eficazes fez com que houvesse menores diferenças entre os valores de TIR_{pele} entre os lados direito e esquerdo. Os primeiros estudos que analisaram a assimetria estipularam valores maiores que 1°C (BARNES, 1963; FELDMAN e NICKOLOFF, 1984), e estudos mais recentes, como o de Vardasca *et al.* (2012), determinaram que a diferença de simetria da TIR_{pele} geral é de $0,25^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$.

Marins *et al.* (2014) procuraram estabelecer um perfil termográfico dos membros inferiores em jovens jogadores de futebol de elite. Com esse fito, foram selecionados 100 jogadores da categoria sub-19 que foram avaliados em quatro RCIs dos membros inferiores. Os resultados demonstram não haver diferenças significativas entre os lados nas RCIs selecionadas para temperaturas médias ou máximas. Assim, os jovens analisados apresentaram simetria térmica contralateral com diferenças médias de T_{pele} contralateral de $\leq 0,2^{\circ}\text{C}$.

A faixa aceitável de diferenças de T_{pele} entre uma RCI e seu dimídio correspondente, tanto em indivíduos não atletas quanto em atletas, ainda não foi totalmente estabelecida. Alguns autores sugeriram valores diferentes em não atletas, sendo $0,3^{\circ}\text{C}$ (BRIOSCHI *et al.*, 2009), $0,4^{\circ}\text{C}$ (PICHOT, 2001) ou $0,5^{\circ}\text{C}$ (NIU

et al., 2001; MARINS *et al.*, 2015b), e, em atletas, um valor superior a 0,7°C (HILDEBRANDT *et al.*, 2010) e 0,5°C (MARINS *et al.*, 2015a).

O esqui alpino é um esporte que comumente apresenta lesões por sobrecarga, o programa de treinamento realizado em períodos pré-temporada consiste em saltos excessivos, o que leva à tensão mecânica e ao uso excessivo do tendão patelar. Por isso, um estudo realizado com praticantes de tal modalidade apresentou sete atletas com sintomas de reações regionais por uso excessivo, eles apresentaram 1,4°C (DP±0,58) como diferença de temperatura entre os lados, calculado pela média de temperatura da região analisada. Quando calculado pelo menor valor de temperatura, a diferença foi de 0,8°C (DP±0,31), e, quando calculado pelo maior valor de temperatura, a diferença foi de 1,3°C (DP±0,64), sendo que a faixa normal de temperatura de oito atletas não lesionados apresentou variação entre os lados de 0,3°C (DP±0,61). Apesar de se tratar de um estudo primário, sendo necessários outros, uma diferença de 0,7°C parece ser definida como anormal e pode indicar uma variante fisiológica ou anatômica no sistema locomotor (HILDEBRANDT *et al.*, 2010).

Diante da dificuldade de estabelecer padrões térmicos de assimetria, Marins *et al.* (2015a) propuseram uma escala e as ações correspondentes as quais chamaram de “nível de atenção” e que deverão ser observadas em função das diferenças bilaterais de temperatura. Diferenças menores que 0,4°C são consideradas assimetrias normais. Para diferenças entre 0,5° a 0,7°C classificadas como monitoramento, é aconselhável reavaliar e verificar se há influência de algum fator externo, monitorar o atleta para avaliar suas condições mentais e de treinamento e aumentar a frequência de monitoramento. No que tange às diferenças entre 0,8° e 1,0°C, classificadas como prevenção, recomenda-se a diminuição imediata da carga de treinamento ou mesmo a suspensão do treinamento. Como já foi observado, valores superiores a 0,8 pode indicar a existência de processo inflamatório significativo ou risco de lesão mesmo sem sintomas prévios de dor, portanto foi recomendada a avaliação médica e/ou fisioterápica do atleta. Para diferenças entre 1,1 a 1,5°C, classificadas como alarme, foram sugeridas a suspensão imediata do treinamento e a avaliação médica ou fisioterapêutica. E, finalmente, para diferenças acima de 1,6°C, classificadas como de alta severidade, foi sugerida a ocorrência de uma assimetria com característica patológica ou lesão importante, sendo a coordenação com a equipe médica, fundamental para determinar o real estado do

atleta. Os autores ainda sugerem que, quando diferenças significativas de temperatura forem observadas, deve-se repetir a avaliação após 15 minutos a fim de confirmar se essa diferença será mantida (MARINS *et al.*, 2015a).

Importante destacar também que a simetria da TIR_{pele} dos dimídios corporais não foi afetada pelo ritmo circadiano em estudos que determinam as variações diárias da T_{pele} (COSTA *et al.*, 2015; COSTA *et al.*, 2018).

2.3.2 Termografia no esporte

O uso da termografia no esporte advém da aplicação na área médica e também utiliza os princípios da termologia para identificar modificações na T_{pele} . O primeiro trabalho com termografia para avaliar distúrbios musculoesqueléticos foi realizado por Albert *et al.* (1964) e demonstrou quantitativamente que a emissão de infravermelho parecia diminuir progressivamente à medida que o processo de cicatrização avançava.

Com o aumento da participação na atividade esportiva pela população em geral e com um treinamento mais intenso dos atletas, as lesões dos tecidos moles estavam ocorrendo com maior frequência (KELLETT, 1986). No ano de 1990, Garagiola e Giani (1990) descreveram o uso da teletermografia no gerenciamento das lesões esportivas. Na ocasião, os autores demonstraram alguns padrões termográficos de lesões relacionados às tensões musculares, às contusões, às entorses e às lesões por uso excessivo, com isso fizeram a recomendação do uso da termografia, pois demonstrava ser muito útil no tratamento dessas lesões esportivas, permitindo um bom monitoramento da recuperação do atleta e evitando o risco de retorno precoce ao treinamento.

Apesar de o uso da termografia no esporte ter sido recomendado há algumas décadas, devido a alguns fatores de dificuldades, sendo eles a tecnologia, a qualidade do equipamento, a mobilidade, o custo e a velocidade da análise dos dados, essa técnica não proliferou no ambiente esportivo (MARINS *et al.*, 2015a). Ademais, os últimos avanços tecnológicos permitiram a construção de equipamentos mais confiáveis, econômicos e gerenciáveis remotamente, com a possibilidade de desenvolvimento de software de análise imediata dos dados, melhorando a possibilidade de uso dessa técnica em vários campos esportivos e no contexto de

medidas dinâmicas na fisiologia do exercício (HILDEBRANDT *et al.*, 2010; MARINS *et al.*, 2015a; HILLEN *et al.*, 2020).

Para um entendimento do uso da termografia no esporte, Hildebrandt *et al.* (2012) dividiram as mudanças de T_{pele} em estímulos não térmicos, que estão relacionados aos eventos pós lesão, e estímulos térmicos, que estão relacionados ao estresse interno induzido pelo exercício físico.

No estímulo não térmico, ocorre a comparação entre as T_{pele} dos seguimentos corporais contralaterais durante a análise do processo de lesão, visto que, em situações normais, a T_{pele} do corpo mostra uma distribuição simétrica e a lesão pode afetar essa simetria (SILBERSTEIN *et al.*, 1975; SELFE *et al.*, 2008; VARDASCA, 2008; HILDEBRANDT *et al.*, 2012).

Para Hildebrandt *et al.* (2012), a aplicação da termografia na análise de lesões pode ocorrer em duas situações distintas. A primeira delas seria por lesões traumáticas, que envolvem um longo período de reabilitação e um tratamento adequado que pode reduzir o tempo de afastamento do esporte e o impacto negativo do período de reabilitação. A segunda maneira de realizar essa aplicação seria por uso excessivo decorrente do treinamento de alta intensidade combinado com período de competição frequente que sobrecarrega o sistema locomotor aos seus limites anatômicos e fisiológicos. Em ambas as situações, é necessário um controle de linha de base da T_{pele} do atleta para visualizar os processos regulatórios térmicos. Em relação às lesões por uso excessivo, medições repetidas de TIR_{pele} logo após o treinamento esportivo e no período de recuperação, com acompanhamento diário e individualizado, esclarecerão se as distribuições de T_{pele} assimétricas em indivíduos assintomáticos são preditivas para identificação anterior às reações iniciais da lesão. (HILDEBRANDT *et al.*, 2012).

No estímulo térmico, imagens sequenciais anteriores, durante e após o exercício físico, são utilizadas para determinar alterações cutâneas de temperatura. Observa-se que tal fato é possível, uma vez que, ao capturar imagens, é possível visualizar a resposta imediata do sistema nervoso simpático através do reflexo somatocutâneo, a regulação sistêmica do fluxo sanguíneo cutâneo pode ser monitorada em função do tipo, da duração e da intensidade do exercício (HILDEBRANDT *et al.*, 2012). É sabido que a atividade esportiva induz um processo complexo de termorregulação, em que parte do calor é liberado pela pele dos atletas, e, portanto, parece existir uma correlação entre o trabalho mecânico realizado e os

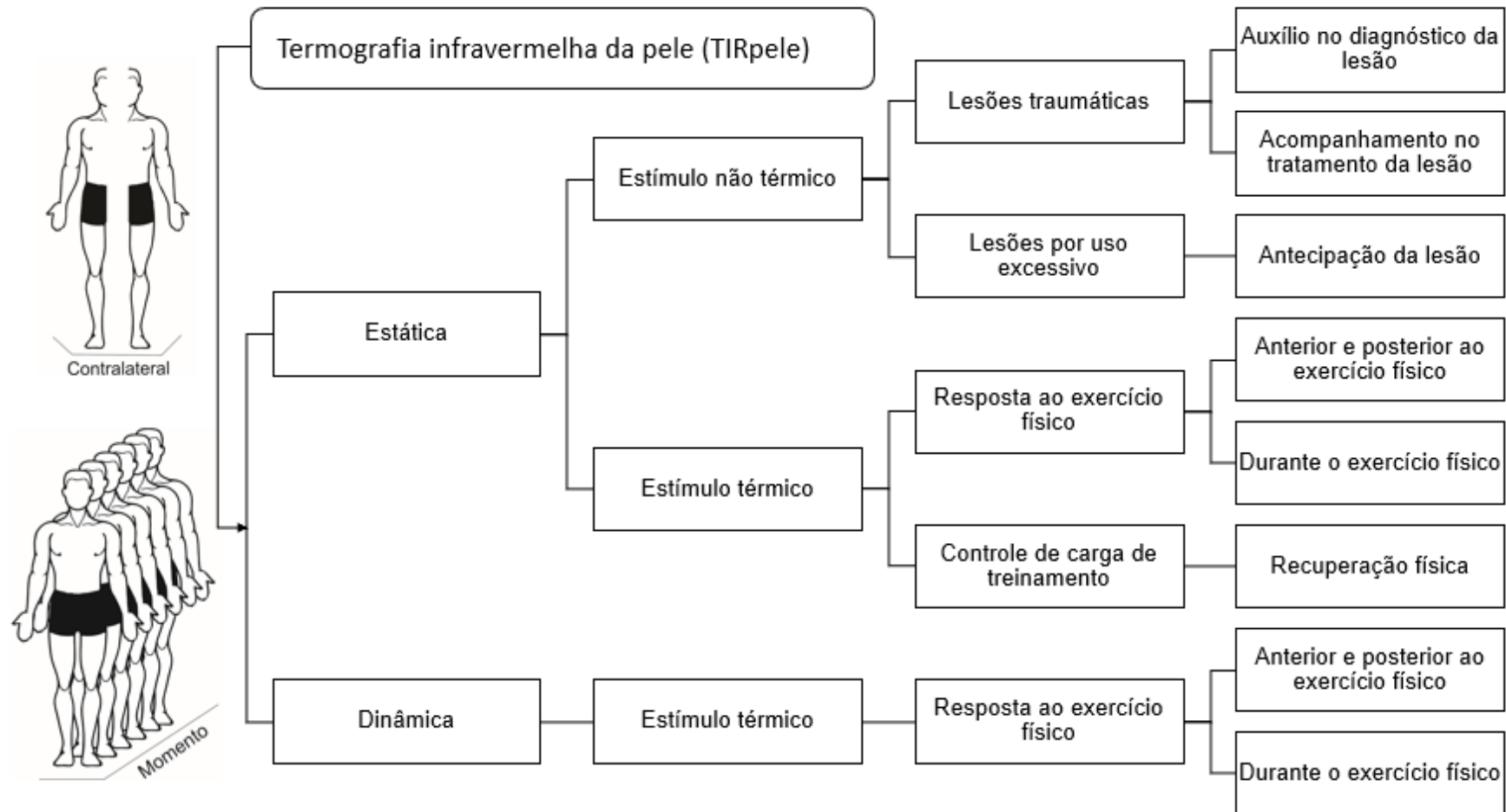
processos metabólicos da produção de calor (CHUDECKA *et al.*, 2015). Como nem todo o calor produzido pode ser totalmente liberado, ocorre um aquecimento muscular, resultando em um aumento da temperatura cutânea (AHLEM *et al.*, 2012). Porém, existem diferenças entre a característica metabólica do exercício físico; de acordo com Hildebrandt *et al.* (2012), a T_{pele} do músculo quadríceps aumentou após o exercício aeróbico ($0,7^{\circ}\text{C}$, $p=0,215$). Os autores ainda apresentaram, numa análise qualitativa baseada na escala de cores, pontos coloridos representando temperaturas quentes sobre a coxa; no exercício anaeróbico, o comportamento foi inverso, demonstrando uma queda na T_{pele} ($-1,5^{\circ}\text{C}$, $p=0,094$). A diminuição da T_{pele} após o exercício anaeróbico ocorre pela demanda metabólica aumentada nos músculos ativos, o exercício intenso e de curto prazo leva a uma redistribuição do fluxo sanguíneo dos tecidos inativos, como a pele, para o músculo exercitado através do sistema vasoconstritor (KENNEY e JOHNSON, 1992).

No esporte, as avaliações de termografia comumente utilizadas são medidas estáticas. Embora essas avaliações sejam mais diretas e possam exigir configurações e equipamentos técnicos menos sofisticados, sua desvantagem é que elas não fornecem informações suficientes para permitir uma discriminação importante entre o impacto individual de fatores de confusões ambientais, individuais e técnicos na medição de leituras fisiológicas relevantes do exercício físico. Assim, as medições dinâmicas podem ser importantes para minimizar esses problemas e aumentar a aplicabilidade da termografia no esporte (HILLEN *et al.*, 2020).

Para propor uma nova alternativa de aplicação da TIR_{pele} , Hillen *et al.* (2020) realizaram uma revisão de estudos com termografia dividida em três tipos diferentes de exercício físico: exercício de resistência de carga constante (ECC), teste com incremento de carga até exaustão (TI) e exercícios resistidos (ER). No ECC, apesar da alta variabilidade nas características dos estudos, alguns achados comuns foram obtidos: a T_{pele} de diferentes RCI diminui imediatamente após o início do exercício, seguido de uma fase de platô ou de um aumento de T_{pele} novamente até valores iniciais ou acima, que segue até o final do exercício; após o término do exercício, ocorre um aumento adicional da T_{pele} . Como resultado dos estudos com TI, assim como no ECC, um aumento rápido da T_{pele} foi detectado após término do exercício, e, ao contrário do ECC, foi encontrada uma diminuição progressiva da T_{pele} até o ponto de exaustão (interrupção do teste); contudo esses resultados muitas vezes não foram corroborados, já que os autores apontam que a literatura apresenta

consideráveis diferenças nos resultados ao apresentar modificações na T_{pele} durante o TI. No ER, as RCI mais pesquisadas são as regiões do bíceps braquial e da coxa; a maioria dos estudos relatou aumento da T_{pele} relacionada aos músculos diretamente envolvidos no exercício, enquanto outros atestaram uma diminuição, e um estudo não detectou nenhuma alteração na T_{pele} durante ER. Com esses dados controversos, os autores concluem que os resultados são incomparáveis devido a diferentes métodos, pontos de medição e protocolos de ER. Como os estudos revisados pelos autores demonstraram diferentes resultados, eles sugerem que, para resultados confiáveis e comparáveis, a RCI específica do tipo de exercício deve ser examinada, definida e analisada de forma abrangente, com uso de software para detecção automática, análise por algoritmo e uso da análise dinâmica e radiômica.

Figura 6. Aplicação da termografia infravermelha no esporte.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.3.3 Fatores influenciadores da avaliação termográfica da pele

Nos últimos anos, devido a uma maior aplicação da termografia, houve um aumento no interesse na padronização de procedimentos para protocolos clínicos, incluindo preparação do avaliado, posições do corpo para registro de imagens e avaliação de imagens térmicas (RING e AMMER, 2012). A termografia exige um controle de muitos fatores que podem influenciar na avaliação e no tratamento das imagens térmicas (ZAPROUDINA *et al.*, 2008), tanto em análise quantitativa quanto na análise qualitativa.

Um estudo de revisão reuniu diversos estudos que reportaram diferentes temperatura ambientes, umidades do ar, distância da câmera e posição do avaliado, e, ainda, um número pequeno de estudos descreveu todas as variáveis de controle analisadas na revisão (VIEGAS *et al.*, 2020). Isso demonstra que, apesar do cuidado em controlar os fatores influenciadores, poucos estudos reportaram o controle dessas variáveis. Não foi encontrado, por exemplo, na literatura, estudos que tenham reportado a análise e o controle do sono dos participantes.

Uma classificação para os fatores que influenciam o uso da termografia infravermelha em humanos foi proposta por Fernández-Cuevas *et al.* (2015), os quais dividem os fatores em três grupos: ambientais, técnicos e individuais.

Os fatores ambientais são aqueles que estão relacionados ao local onde a imagem térmica é realizada, compreendem o tamanho da sala, a temperatura ambiente, a umidade relativa do ar, a pressão atmosférica e a origem da radiação (FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2015).

Os fatores técnicos estão relacionados ao tipo de equipamento e ao método de análise utilizado, e são eles o protocolo, a validade, a reprodutibilidade, os recursos das câmeras, a forma de seleção das RCI, o software e a análise estatística (FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2015).

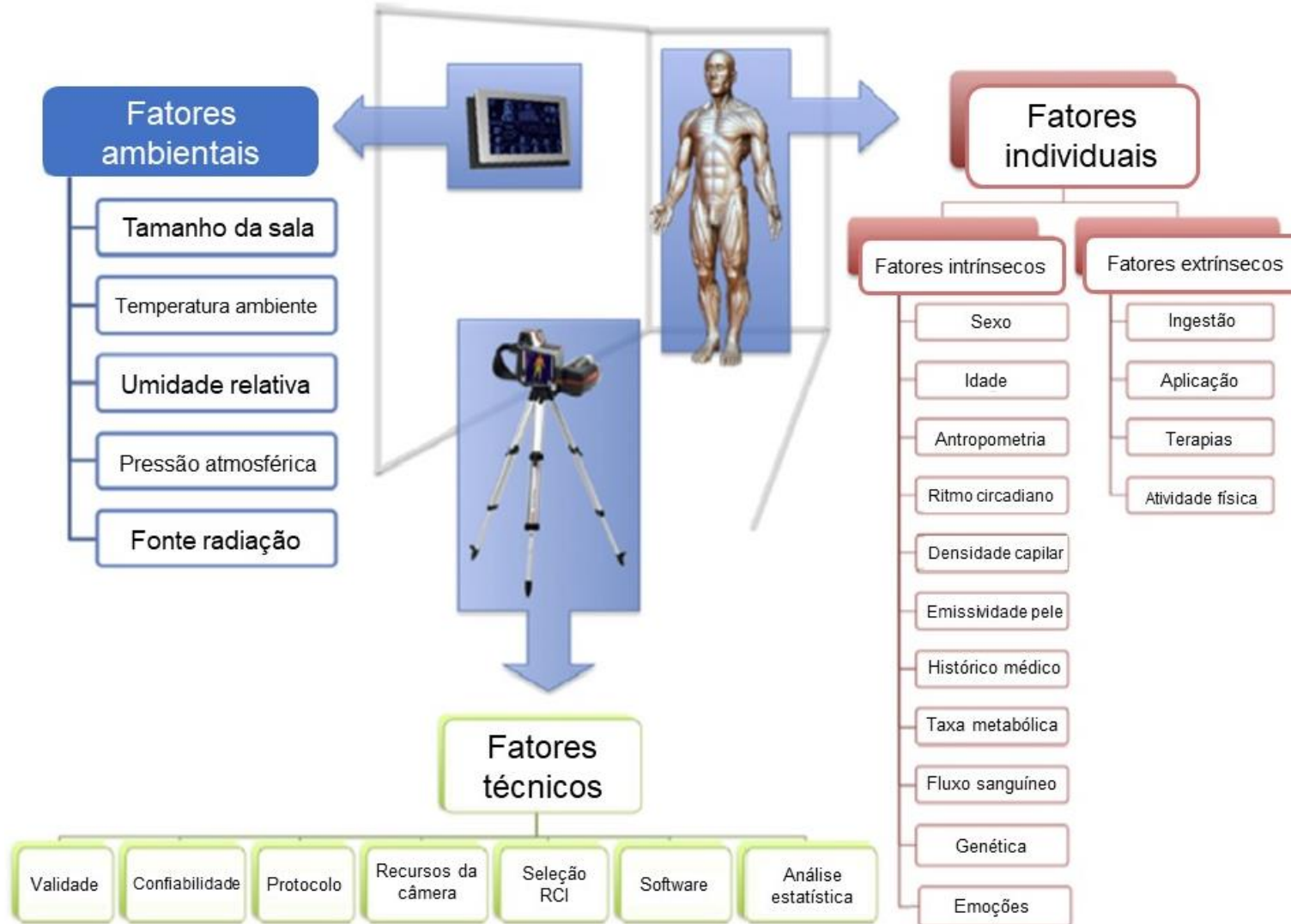
Os fatores individuais são aqueles que estão relacionados aos indivíduos que serão avaliados e suas características pessoais que poderiam influenciar a T_{pele} . Esses fatores foram divididos em intrínsecos e extrínsecos. Esse último fator, ao contrário dos demais, são números maiores e mais difíceis de controlarem, todavia são importantes e devem ser observados e relatados. Os fatores individuais extrínsecos foram considerados aqueles que afetam a T_{pele} por um certo período de tempo, sendo a maioria fatores externos. Considerando a grande lista de fatores

externos, eles foram subdivididos de acordo com suas características principais: os fatores que podem estar relacionados à ingestão (medicamentos, álcool, cigarro, estimulantes como a cafeína, alimentos, hidratação), os fatores que estão relacionados à aplicação direta à pele (pomadas e cosméticos, contato com água, luz solar, terapias), e ainda os fatores que dizem respeito à atividade física (atividade física recente, sudorese, nível de atividade física, dominância dos membros, e o tipo de modalidade esportiva). Os fatores individuais intrínsecos foram considerados aqueles relacionados as características básicas dos indivíduos e que estão relacionados com os parâmetros biológicos e anatômicos, são o sexo, a idade, a antropometria, o ritmo circadiano, a densidade capilar, a emissividade da pele, o histórico médico, a taxa metabólica, o fluxo sanguíneo da pele, a genética e as emoções (FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2015).

Recentemente um grupo de pesquisadores de 13 países realizou um estudo Delphi para consenso sobre a medição T_{pele} humana por imagem termográfica no esporte e na medicina do exercício. O autor principal propôs uma lista inicial de 16 pontos, ela foi avaliada e comentada pelos participantes do painel em três rodadas de pesquisas anônimas, seguindo um procedimento padrão do Delphi. O painel alcançou um consenso em 15 itens que abrangem as informações demográficas dos participantes, sendo a configuração de câmera, a sala ou o ambiente de análise, e o método de análise de TIR_{pele} . Os resultados do Delphi produziram a lista de verificação que foi intitulada “*Thermographic Imaging in Sports and Exercise Medicine (TISEM)*”, que é uma proposta para padronizar a coleta e a análise de dados da TIR_{pele} . Com a lista, pretende-se que o TISEM também possa ser aplicado para avaliar o viés em estudos termográficos e orientar os profissionais no uso da TIR_{pele} (MOREIRA *et al.*, 2017).

Diante da classificação proposta pelos estudos, é perceptível que a ausência de sono (privação de sono ou restrição de sono) não é considerada nos parâmetros de controle e não tem sido relatada a priori nas avaliações da TIR_{pele} , assim é necessário estabelecer a influência dessa condição na TIR_{pele} e reforçar os cuidados ao avaliar os indivíduos.

Figura 7. Fatores influenciadores da avaliação termográfica da pele



Fonte: Adaptado de Fernández-Cuevas *et al.* (2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa (CEP) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), com parecer nº 1.810.015 e CAAE nº 60083616.0.0000.5149 (ANEXO 1), e realizado na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO). Todos os participantes foram voluntários, assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (ANEXO2), declarando conhecer e entender a dinâmica do estudo, bem como o direito de sigilo sobre sua identidade e de desistência a qualquer momento sem nenhum prejuízo. Os procedimentos adotados seguiram a Resolução Nº 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde, sobre pesquisas envolvendo seres humanos, e os princípios delineados pela Declaração de Helsinque da Associação Médica Mundial.

3.1 Participantes

O recrutamento dos voluntários foi realizado por meio de cartazes afixados e folders distribuídos no departamento da EEFFTO da UFMG, localizada na cidade de Belo Horizonte/Minas Gerais.

O tamanho da amostra foi determinado utilizando o software GPower (versão 3.1.9.2; Franz Faul, Universidade Kiel, Alemanha), considerando os dados de TIR_{pele} a partir de dados piloto, as seguintes especificações de design: tamanho do efeito = 0,3; $\alpha = 0.05$; $(1-\beta) = 0.8$; número de medidas = 12, família teste = Teste F e teste estatístico = análise de variância (ANOVA) medidas repetidas (Beck 2013). O tamanho da amostra estimado de acordo com essas especificações foi de 10 participantes. Inicialmente a amostra foi composta por quinze ($n=15$) homens jovens, porém durante o experimento foi realizada uma exclusão por desistência e três por problemas na coleta das imagens térmicas durante o protocolo de privação de sono, portanto, para análise dos dados, foram utilizados 11 participantes.

De acordo com os critérios de seleção, foram incluídos no presente estudo homens com idade entre 18 e 35 anos, não fumantes, que não administravam medicamentos de uso contínuo, que não relataram dor em geral e distúrbios ou síndromes articulares e musculoesqueléticas, além de terem disponibilidade de participar de todas as visitas e permanecerem em vigília no local do estudo durante

36 horas. Os participantes foram instruídos a não realizarem exercícios vigorosos e a não ingerirem medicamentos ou alimentos estimulantes ou desestimulantes nas 24 horas que antecederam as visitas programadas ao laboratório. Durante o experimento, os participantes não reportaram nenhum tipo de dor ou problemas com suas atividades diárias e não fizeram uso de medicamento. Os critérios de exclusão adotados foram a indicação de distúrbios do sono, a retirada do consentimento, a não permanência no laboratório, a presença de curtos períodos de sono (cochilos) identificados pelo tempo de inatividade registrados pelo actígrafo durante o período de vigília, e qualquer evento inesperado que pudesse impedir a coleta de dados nos momentos estabelecidos.

3.2 Delineamento experimental

Os procedimentos em ordem cronológica estão sumarizados na Figura 8. No primeiro dia de visita, os participantes foram acompanhados ao Centro de Estudos em Psicobiologia e Exercício (CEPE) e, após a assinatura do TCLE (ANEXO 2), preencheram uma ficha de identificação individual e dados biopsicossociais (ANEXO 3) para o registro dos dados pessoais e de saúde, também responderam o Questionário de Qualidade de Sono de Pittsburgh (PSQI) (ANEXO 4). Esse primeiro dia de avaliação se destinou também a verificar se os indivíduos estavam aptos a participar do estudo em relação aos critérios de inclusão.

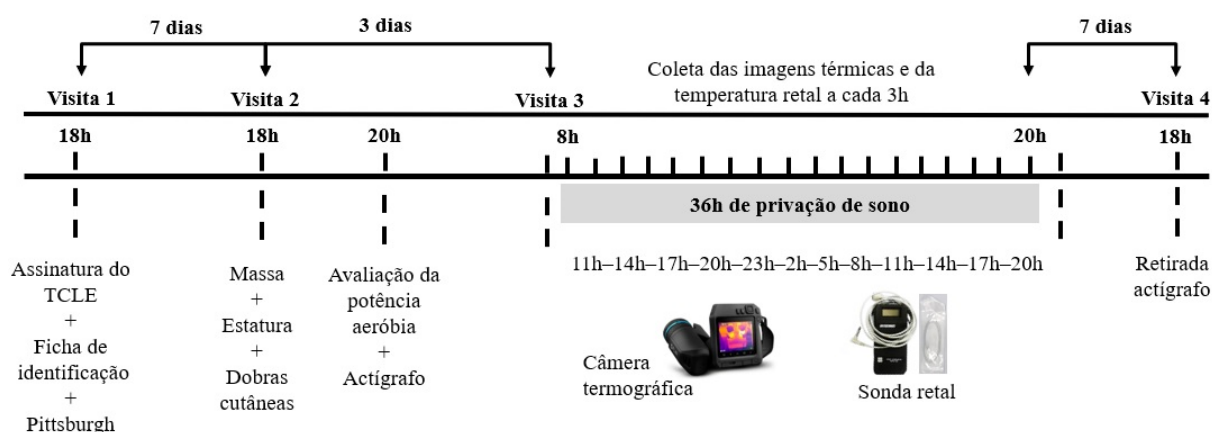
No segundo dia de visita, às 18 horas, os participantes foram acompanhados até o Laboratório de Fisiologia do Exercício (LAFISE), onde foram realizadas as medidas de dobras cutâneas, a massa e a estatura corporais para caracterização dos dados antropométricos. Em sequência, foi realizado o teste para determinação da potência aeróbia através do teste de esforço máximo de carga progressiva em cicloergômetro juntamente com a espirometria. Durante o teste, a cada 3 minutos, os participantes responderam a escala de percepção de esforço de Borg (ANEXO 5). Após a realização do teste, os participantes foram orientados quanto ao funcionamento e ao uso do monitor que registra atividade-reposo (actígrafo) e, posteriormente, foram orientados a colocá-lo no punho não dominante. O período de uso foi determinado entre a visita 2 e a visita 4 (figura 8), compreendendo o período de vigília de 36 horas.

3.2.1 Protocolo de privação de sono

No terceiro dia de visita, após três noites habituais de sono (DUFFY *et al.*, 2009; SHAO *et al.*, 2013) realizadas na residência, os participantes se dirigiram ao CENESP (Centro de Excelência Esportiva) da UFMG. Às 08 horas da manhã, iniciou-se o protocolo de privação de sono de 36 horas (PHAM *et al.*, 2014; XU *et al.*, 2018; ZHOU *et al.*, 2019). Durante a intervenção, os participantes foram avaliados a cada 3 horas com o término às 20 horas do dia seguinte. Ao final, para segurança dos participantes, eles foram conduzidos até as suas residências.

No quarto dia de visita, os participantes compareceram novamente ao CEPE para retirada e devolução do actígrafo.

Figura 8. Delineamento experimental.



Fonte: O autor.

3.3 Procedimentos

As mensurações antropométricas e da temperatura corporal foram realizadas em uma sala fechada e silenciosa, mantida com umidade relativa do ar de 60 a 70% e temperatura ambiente entre $24 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Os participantes permaneceram privados de sono durante 36 horas, em um protocolo de rotina constante. A mesma rotina diária foi utilizada para homogeneizar a dinâmica da coleta das imagens para determinação da $T_{\text{IR}_{\text{pele}}}$ e da mensuração da T_{retal} , que foram mensuradas a cada 3 horas no primeiro dia (11h, 14h, 17h, 20h e 23h) e no segundo dia (2h, 5h, 8h, 11h, 14h, 17h e 20h), totalizando 12 momentos.

Durante o protocolo de 36 horas de privação de sono, os participantes não puderam sair do local estabelecido para a coleta de dados (CENESP), eles permaneceram durante todo o momento no local onde foram utilizadas duas salas com aproximadamente 15 e 30m², com iluminação artificial constante durante o dia e a noite, não havendo incidência de luz natural, também foi disponibilizado um banheiro para uso momentâneo e individual. A sala menor foi climatizada ($24 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$) e preparada para coleta das imagens térmicas, e outra maior, para permanência e alimentação. Durante os momentos entre as coletas, os participantes também foram monitorados pelos pesquisadores para que não dormissem ou cochilassem, foi permitido manter a posição em pé ou sentada de livre escolha do participante, em nenhum momento foi permitido assumir a posição deitada. Também não foi permitido realizar atividade física ou ingerir substância psicoativa.

Os participantes mantiveram a alimentação e a ingestão de água *ad libitum*. A alimentação foi a mesma para todos os participantes, sendo a quantidade de acordo com a necessidade e escolha individual, os momentos de alimentação ocorreram entre e sempre após os períodos de coleta das imagens térmicas. O café da manhã ocorreu entre 8h30min e 9h, o almoço entre 11h30 e 12h, o café da tarde entre 17h30min e 18h e o jantar entre 20h30min e 21h. Nos demais horários foram permitidos lanches com frutas e suco natural, o horário foi limitado em até uma hora após o horário das coletas. O uso do banheiro, localizado no local de permanência, foi permitido conforme a necessidade individual.

Durante todo o protocolo de vigília, os participantes realizaram apenas atividades de baixo consumo de energia ($<1,6$ METs)(NORTON *et al.*, 2010), dessa forma puderam fazer uso de computadores e celulares com acesso à internet, ler livros, jogar cartas e jogos de tabuleiro. Do mesmo modo, a interação ou a comunicação entre os pesquisadores e os participantes foram mantidas com o propósito de que permanecessem acordados.

Sempre anterior aos momentos estabelecidos para as coletas de dados, os participantes eram direcionados à sala climatizada para permanência mínima de aclimação de 10 min na posição em pé. Isso permitiu também que os participantes ficassem na mesma condição, interrompendo as atividades que poderiam ser realizadas entre os momentos de coletas de dados. As imagens térmicas foram realizadas por três pesquisadores previamente treinados e em sistema de

vezamento a cada 12 horas. Desse modo, o participante tinha sempre um avaliador em constante interação.

3.4 Avaliações

3.4.1 Avaliação antropométrica

Para caracterização da amostra foi determinado o percentual de gordura corporal, foram aferidas as dobras cutâneas peitoral, abdominal e coxa média obtidas com plicômetro Cescorf® (modelo científico). Foram realizadas três medidas não consecutivas, e extraída a média entre elas. Para o cálculo da estimativa da densidade corporal, foram utilizadas as equações do somatório de três dobras (peitoral, abdominal, e coxa) desenvolvidas por Jackson e Pollock (1978), e, para o percentual de gordura, a equação de Siri (1993).

A avaliação da massa corporal (MC), descrita em quilogramas (Kg), foi realizada com o participante de costas para a balança, com os pés afastados lateralmente, olhar ao horizonte, seguindo o plano de Frankfurt e utilizando apenas sunga. Para a medida da estatura, apresentada em centímetros (cm), o participante ficou na posição ortostática, pés afastados lateralmente, braço estendido ao longo do corpo e olhar ao horizonte. A fim de realizar a coleta das variáveis antropométricas, foi utilizada uma balança para uso profissional, com precisão de 100 gramas (Filizola®, Brasil). Com o objetivo de proceder a determinação da estatura, foi utilizado um estadiômetro (Filizola®, Brasil) com precisão de 0,1 cm. O Índice de Massa Corporal (IMC) foi calculado através da fórmula mc/est^2 (Kg/m²).

A avaliação antropométrica foi realizada no LAFISE. Todos os procedimentos antropométricos foram realizados por um único avaliador treinado e conforme as orientações metodológicas propostas pela Sociedade Internacional para o Progresso da Cineantropometria (MARFELL-JONES *et al.*, 2006).

3.4.2 Questionário de Pittsburgh

O Índice de qualidade de sono de Pittsburgh – PSQI (BUYSSE *et al.*, 1989) foi utilizado antes do início do protocolo de privação de sono para identificar participantes com distúrbios de sono e atender o determinado no critério de exclusão. O questionário foi desenvolvido por Buysse *et al.* (1989) e avalia a qualidade e a eficiência de sono percebidas bem como a possível presença de distúrbio de sono. O índice foi traduzido, adaptado e validado no Brasil por Bertolazi *et al.* (2011) e contém 19 itens de autoavaliação e, na existência de um companheiro de quarto, 06 itens para ele responder. Os itens são alocados em 07 componentes no total. O resultado varia entre 0 (zero) e 21 pontos, classificados como boa qualidade do sono (0 a 4), qualidade de sono ruim (5 a 10) e indicação de distúrbio do sono (acima de 10). O PSQI (ANEXO 4) avalia a qualidade do sono do participante do último mês, sendo um questionário de autopreenchimento e que permite a realização da avaliação de sete componentes principais: 1) qualidade subjetiva do sono; 2) latência do sono; 3) duração do sono; 4) eficiência habitual do sono; 5) distúrbios do sono; 6) uso de medicação para dormir; 7) sonolência diurna e distúrbios durante o dia. Para esse estudo, foram analisados os resultados do questionário e caso algum participante apresentasse *score* de qualidade de sono superior a 10 seria excluído do estudo por ser classificado com indicação de distúrbios de sono.

3.4.3 Avaliação da potência aeróbia (determinação do VO_{2pico} .)

Todos os participantes receberam orientações prévias sobre a metodologia. A avaliação, por sua vez, foi realizada por três professores de Educação Física treinados e com experiência prévia na aplicação e na condução do protocolo. O VO_{2pico} foi mensurado por meio de espirometria de circuito aberto durante a realização do exercício físico incremental, utilizando-se um analisador de gases (BIOPAC® Systems, Inc.), previamente. Os participantes realizaram o protocolo de carga progressiva proposto por De Pawn *et al.* (2013), durante o qual inicia-se pedalando a 100 W, com incrementos de carga de 25 W a cada 3 minutos até a interrupção voluntária do esforço. O teste incremental foi realizado em uma bicicleta

ergométrica (Padrão Monark: MAXX®, Hidrofit®, Brasil) com sistema de resistência por fricção

Todas as variáveis respiratórias foram avaliadas continuamente ao longo do teste e analisadas a cada minuto. A frequência cardíaca (FC) foi registrada a cada minuto e no momento da interrupção do esforço por meio de um motor de FC (Polar®, modelo Advantage NV). Na região do tórax dos voluntários, foi colocada a cinta do monitor cardíaco (Polar®, Finlândia) que envia os dados de FC, em batimentos por minuto (bpm), para um relógio mantido no pulso do voluntário, nos momentos de repouso, e no guidão da bicicleta, durante o exercício físico, não sendo possível que o participantes pudesse enxergar os seus valores de FC durante o teste.

Além disso, a percepção subjetiva de esforço foi avaliada ao final de cada estágio (3min) através da escala proposta por Borg (1982). Os indivíduos indicaram a sua percepção momentânea do esforço com base na escala que varia de 6 a 20, sendo o nível 6 atribuído ao menor esforço durante um exercício, e o nível 20, ao maior esforço possível. Com o fito de obter o melhor aprendizado do uso da escala, foi realizada a ancoragem de percepções passadas de esforço que o voluntário vivenciou.

O VO_2 mais alto nos instantes finais do esforço máximo foi considerado o VO_{2pico} , os critérios utilizados para determinação foram a escala de Borg 19-20, além de coeficiente respiratório (R) > 1,09. O sistema foi calibrado antes da realização de cada protocolo, usando uma concentração de gases já estabelecidos. Foi utilizada uma máscara facial Hans Rudolph® flow-by face mask (Kansas City, MO, EUA), e o teste foi realizado em uma câmara ambiental (WMD, Russels Technical Products, Holland, MI, EUA) com aproximadamente 24°C de temperatura e 55% de umidade relativa do ar. A figura 9 (A e B) apresentam o ambiente de coleta de dados do VO_{2pico} .

Figura 9. Realização da avaliação de potência aeróbia



Fonte: Dados da pesquisa.

3.4.4 Avaliação do tempo de vigília e ausência de cochilos

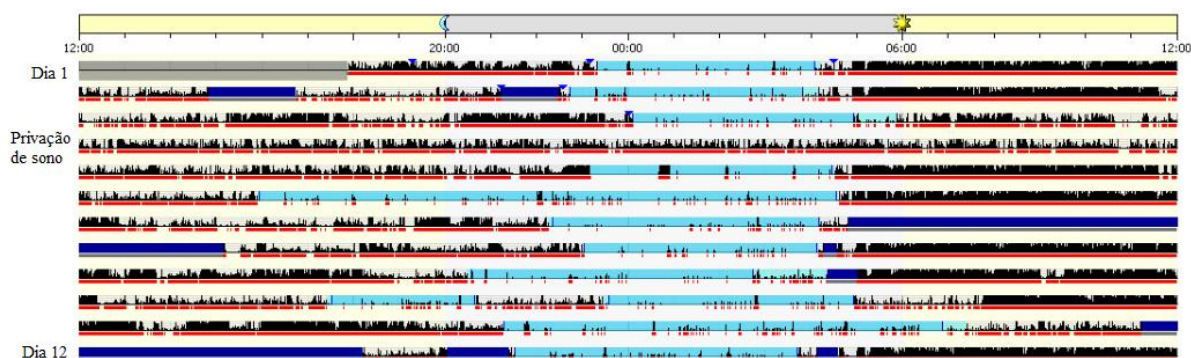
O tempo de vigília dos participantes foi monitorado utilizando o actígrafo de punho, que são pequenos aparelhos, similares a relógio de pulso, portáteis, baseados em acelerômetros computadorizados, que monitoram movimentos (ANCOLI-ISRAEL *et al.*, 2015). O actígrafo permite a monitorização contínua da atividade-reposo ou do ciclo vigília-sono, assim como do ritmo circadiano em diferentes populações (VALLIERES e MORIN, 2003; NATALE *et al.*, 2009; KARHULA *et al.*, 2013).

O dispositivo contém um acelerômetro de cristal piezoelétrico (ANCOLI-ISRAEL *et al.*, 2003; SADEH, 2011), cuja voltagem altera de acordo com as constantes mudanças de direção que são realizadas, um sinal é então potencializado, filtrado e comparado com um valor de referência, e posteriormente transformado em informação digital. Em sequência, a informação é agrupada em intervalos constantes, também denominados como épocas. Esses valores são submetidos à aplicação de um algoritmo para a determinação do ciclo sono-vigília (SADEH, 2011). Parte-se da premissa de que há menos movimentos durante o sono e mais movimentos durante a vigília (ANCOLI-ISRAEL *et al.*, 2003).

Os participantes foram orientados a colocar o monitor (actígrafo) no punho não dominante durante a visita 2 e utilizá-lo de forma contínua até sete dias após a período de privação de sono (visita 4), ainda foram orientados a manterem seu estilo habitual de vigília-sono durante o estudo. Além disso, os participantes foram instruídos a apertar um botão marcador de evento para apontar as seguintes situações: evento ao deitar-se, ao acordar e ao retirar e ao recolocar o equipamento no punho. O instrumento gráfico gerado avaliou o registro da atividade motora através dos movimentos do membro superior, o dispositivo utilizado foi o Actiwatch 64® (Mini Mitter Company, Bend, OR, USA).

A análise de actigrafia fornece informações de latência (expressa em minutos), eficiência (expressa em %), tempo total de sono (TST - min) e número de despertares (WASO - min). Os dados coletados por meio do actígrafo foram armazenados na memória interna do dispositivo e posteriormente transferidos para um computador e analisados por meio do software *Action-W v.2, Ambulatory Monitoring Inc*® (Figura 10). As informações utilizadas nesse estudo foram a ausência de cochilos durante o período de privação de sono e o tempo médio de vigília, intervalo analisado entre o despertar da noite anterior e o sono da noite posterior aos dois dias de intervenção (vigília), que foi de 2512 ± 44 minutos (41h 52min).

Figura 10. Exemplo de um actograma de um participante.



Fonte: Dados da pesquisa. O período de vigília representado pelo preto, o período de sono, pelo azul claro, e a retirada do actígrafo, pelo azul escuro.

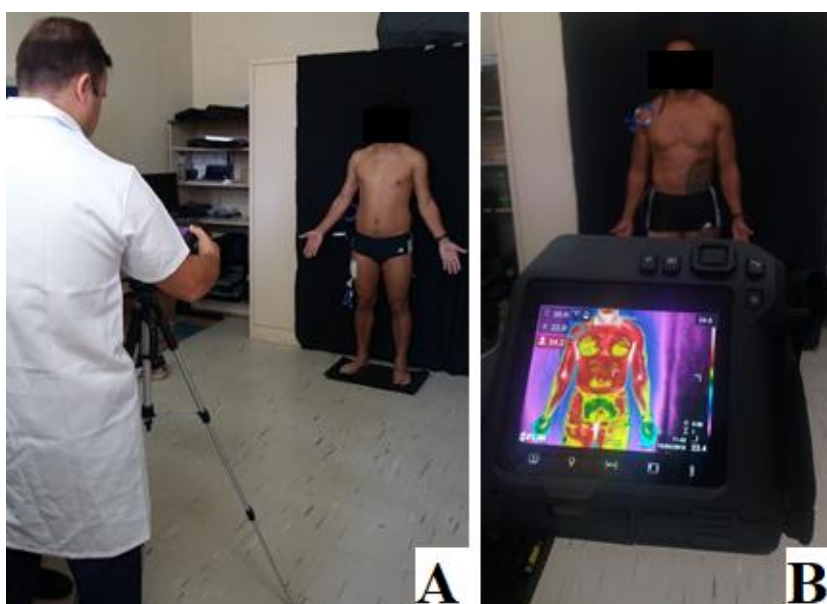
3.4.5 Coleta das imagens térmicas

As coletas das imagens térmicas foram realizadas por três pesquisadores previamente treinados e com experiência. O revezamento ocorreu a cada 12 horas e sempre entre os períodos de coletas.

Para a coleta das imagens térmicas, foi realizada a padronização do tipo de vestimenta dos participantes para que não influenciasse na TIR_{pele} , portanto eles vestiam somente sunga durante o período de avaliação. Além disso, na sala de coleta das imagens, os participantes permaneciam por no mínimo 10 minutos, para estabilização da TIR_{pele} , conforme proposto por Marins *et al.* (2014b). Durante o período de aclimatação, os participantes foram supervisionados e orientados a permanecerem de pé, sem cruzar os braços, sem realizar movimentos bruscos e não esfregar as mãos.

Após o período de 10 minutos, eles foram orientados a assumirem a posição anatômica de referência em cima da plataforma utilizada para isolamento de contato com o solo; a plataforma foi colocada a uma distância de 2,5 m do termovisor (figura 11). Também foi utilizado um fundo preto, e as imagens foram obtidas de acordo com a recomendação sobre a medição da temperatura da pele humana e o grau de emissividade de 0.98 (MOREIRA *et al.*, 2017).

Figura 11. Realização das coletas de imagens térmicas



Fonte: Dados da pesquisa.

Para cada participante, foram realizadas quatro imagens térmicas em cada um dos 12 momentos de coleta, acompanhando os pontos de análise que abrangeram a região anterior e a posterior do corpo com uma imagem dos membros inferiores e uma imagem dos membros superiores e tronco.

O equipamento (figura 12) utilizado para obtenção das imagens termográficas foi o termovisor T530 (Flir®, Oregon, EUA), com amplitude de medição de -20°C a +120°C, precisão de $\pm 2^\circ\text{C}$ ou 2%, banda de espectral dos infravermelhos de 7,5 μm a 14 μm e Sistema *Focal Plane Array* (FPA) com alta resolução de 320 x 240 pixels (76.800 pixels).

Figura 12. Câmera termográfica utilizada para obtenção dos dados de termografia da pele



Fonte: <https://www.flir.com.br/products/t530/>

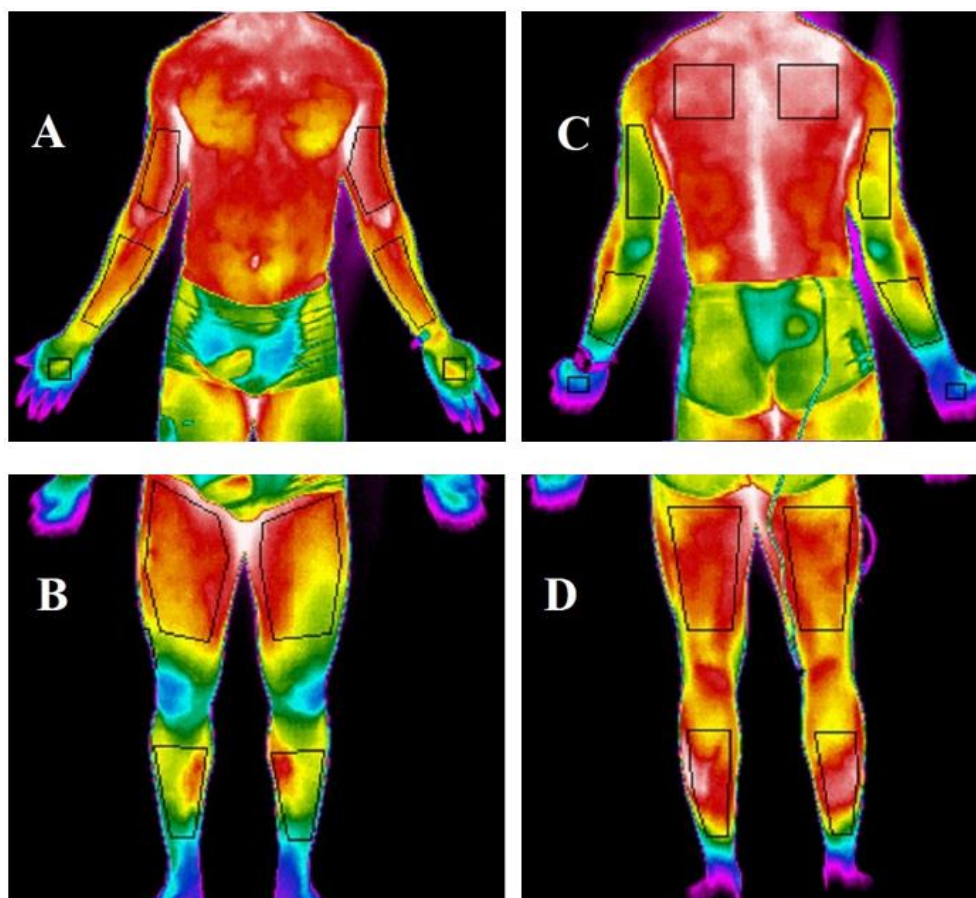
3.4.6 Análise das imagens térmicas

As vinte e duas RCI analisadas foram mãos, antebraços e braços da região superior anterior, coxas e pernas da região inferior anterior, mãos, antebraços, braços e escápulas da região superior posterior e coxas e pernas da região inferior posterior. Para identificação das RCI foram determinados como limítrofes os seguintes pontos anatômicos: a) mão: junção do 3° metacarpo com a 3° falange proximal e processo estilóide da ulna; b) antebraço: 1° terço distal do antebraço e fossa cubital; c) braço: fossa cubital e linha axilar; d) coxa: 5 cm acima da borda superior da patela e linha inguinal; e) perna: 5 cm abaixo da borda inferior da patela e 10 cm acima do maléolo.

Na face posterior foram analisadas as regiões correspondentes da face anterior do corpo. Todas as RCI foram analisadas nos hemisferos direito e esquerdo (figura 13).

As imagens térmicas foram analisadas por um único avaliador treinado e com experiência, foi utilizado o software FLIR ResearchIR Max® (ANEXO 6), sendo delimitado um contorno no formato da RCI. Cada pixel que compõe a RCI apresenta um valor de temperatura, nessas áreas foram identificados o pixel de menor e maior temperatura (tabela 3 e 4). A fim de extrair uma medida resumida e representativa de toda a área da RCI, foi utilizada a metodologia mais comum encontrada na literatura (FORMENTI *et al.*, 2018), que é o cálculo da média dos valores de temperatura de todos os pixels dentro da ROI. Todos os procedimentos foram realizados seguindo os critérios descritos por Ring e Ammer (2000). Dessa forma, as TIR_{pele} obtidas foram tabuladas em planilha eletrônica para posterior análise em um programa estatístico específico.

Figura 13. Diferentes RCI demarcadas manualmente



Fonte: Dados da pesquisa. A: região superior anterior, B: região inferior anterior; C: região superior posterior, D: região inferior posterior

3.4.7 Gradiente de temperatura distal-proximal (GDP)

O GDP foi calculado para cada participante e obtido da diferença entre o somatório das TIR_{pele} das regiões distais (mãos e pernas direita e esquerda nas faces anterior e posterior) menos o somatório das TIR_{pele} das regiões proximais (peito, abdômen e escapulas direita e esquerda), adaptado de Rubinstein e Sessler (1990) conforme proposto por Kräuchi *et al.* (2000).

3.4.8 Mensuração da temperatura retal (T_{retal})

A T_{retal} foi mensurada a cada 3 horas durante as 36 horas (12 momentos) por meio de uma sonda retal individual e descartável (Steri-Probe/Cincinnati Sub-Zero Products, Inc.) (Cincinnati, OH; accuracy 0.188C) inserida pelo próprio participante a 12 cm além do esfíncter anal. Ficou a critério do participante a necessidade de eventual substituição da sonda durante o período de privação de sono. Sempre que a substituição foi necessária, uma nova aferição da T_{retal} foi realizada para ratificar que a sonda foi inserida de forma correta. A sonda retal é considerada padrão ouro para fornecer informações endógenas do componente circadiano (EDWARDS *et al.*, 2002; WATERHOUSE *et al.*, 2005).

3.5 Análise estatística

Foi realizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk para avaliar a normalidade dos dados. Os dados foram apresentados por meio da estatística descritiva em média e desvio padrão (Média \pm DP). Para estatística inferencial foi utilizado o teste de ANOVA para medidas repetidas, foi utilizado a hora do dia (momentos) e o lado corporal (direito e esquerdo) como fatores independentes e a TIR_{pele} como fator dependente, seguido pelo teste *post-hoc* de Bonferroni para determinar a diferença significativa entre os lados corporais e entre os diferentes momentos em cada RCI durante a privação de sono. O teste de esfericidade de Mauchly foi aplicado, e, sempre que esse teste foi violado, as correções técnicas necessárias foram feitas usando o teste de Greenhouse-Geisse. A magnitude de

efeito para ANOVA de medidas repetidas foi calculada através do eta-quadrado parcial (η_p^2) para cada variável dependente, usando as definições de pequena, média e grande magnitude de efeito ($f^2 = 0,20; 0,50$ e $0,80$), respectivamente (GIRARD *et al.*, 2019). Em adição, o tamanho do efeito d de Cohen também foi calculado pela diferença entre os valores médios dos momentos (11h, 14h, 17h e 20h) do primeiro dia e do segundo dia, dividido pelo desvio padrão agrupado. Os valores encontrados foram definidos como trivial ($d < 0,19$), pequeno ($0,2 < d < 0,49$), médio ($0,5 < d < 0,79$), grande ($0,8 < d < 1,29$) e muito grande ($>1,3$) (COHEN, 1988). O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$ em todos os cálculos, e a análise estatística foi realizada usando o software SPSS® para Windows®, versão 20.0.

4 RESULTADOS

O estudo foi iniciado com quinze participantes, no entanto ocorreram quatro exclusões durante o experimento, um por desistência e três por problemas na coleta das imagens térmicas. Dessa forma, onze (n=11) participantes completaram todas as visitas apresentadas no delineamento experimental do estudo. Cada voluntário participou de quatro visitas, todas realizadas na UFMG.

A tabela 1 apresenta as características antropométricas, fisiológicas e de qualidade de sono dos participantes. No que se refere ao índice de qualidade de sono de Pittsburgh, todos os voluntários apresentaram valores abaixo de 10, sendo classificados sem indicação de distúrbios de sono, portanto atenderam ao critério de inclusão.

Tabela 1. Características antropométricas, fisiológicas e qualidade de sono dos participantes (n=11).

	Média	Desvio Padrão
Idade (anos)	24,0	3,46
Massa corporal (kg)	76,5	8,81
Estatura (cm)	175,0	0,04
IMC (kg/m ²)	25,03	2,50
Percentual de gordura (%)	10,71	3,75
VO _{2pico} (mLO ₂ .kg ⁻¹ .min ⁻¹)	43,3	4,34
Pittsburgh (score)	7	2,61

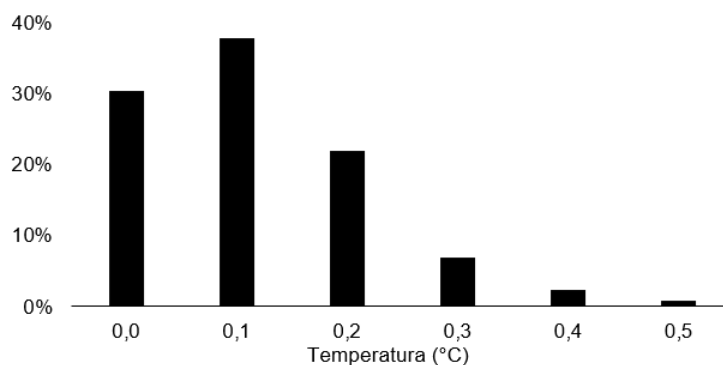
cm: centímetros; Kg: quilograma; IMC: índice de massa corporal; mLO₂.kg⁻¹.min⁻¹:mililitros de =oxigênio por quilogramas por minuto; %: percentual.

A análise da simetria pode ser visualizada na figura 14, que apresenta a distribuição de frequência das diferenças contralaterais (Δ) da TIR_{pele}. Essa distribuição foi realizada com um total de 132 diferenças entre dimídio direito e esquerdo obtidas da média de cada uma das onze RCI nos doze momentos de coleta. Para isso, foram realizadas as subtrações dos valores de TIR_{pele} dos lados direito e esquerdo (Δ contralateral), nas RCI das faces anterior e posterior.

De acordo com os resultados, a diferença de 0,1°C foi a que apresentou maior frequência (38%), sendo que, em 30%, não apresentaram diferença entre os

dimídios corporais. Importante destacar que não ocorreram diferença contralateral ($\Delta^{\circ}\text{C}$) maior que $0,5^{\circ}\text{C}$, assim a simetria compreende uma diferença de até $0,5^{\circ}\text{C}$.

Figura 14. Distribuição percentual das diferenças contralaterais observadas (TIR_{pele} direita – TIR_{pele} esquerda)



As figuras de 15 a 19 mostram os resultados das RCIs analisadas, mãos, braços, antebraços, coxas e pernas no lado direito e esquerdo nas faces anteriores e posteriores, e a região das escápulas lado direito e esquerdo foi representada na figura 20.

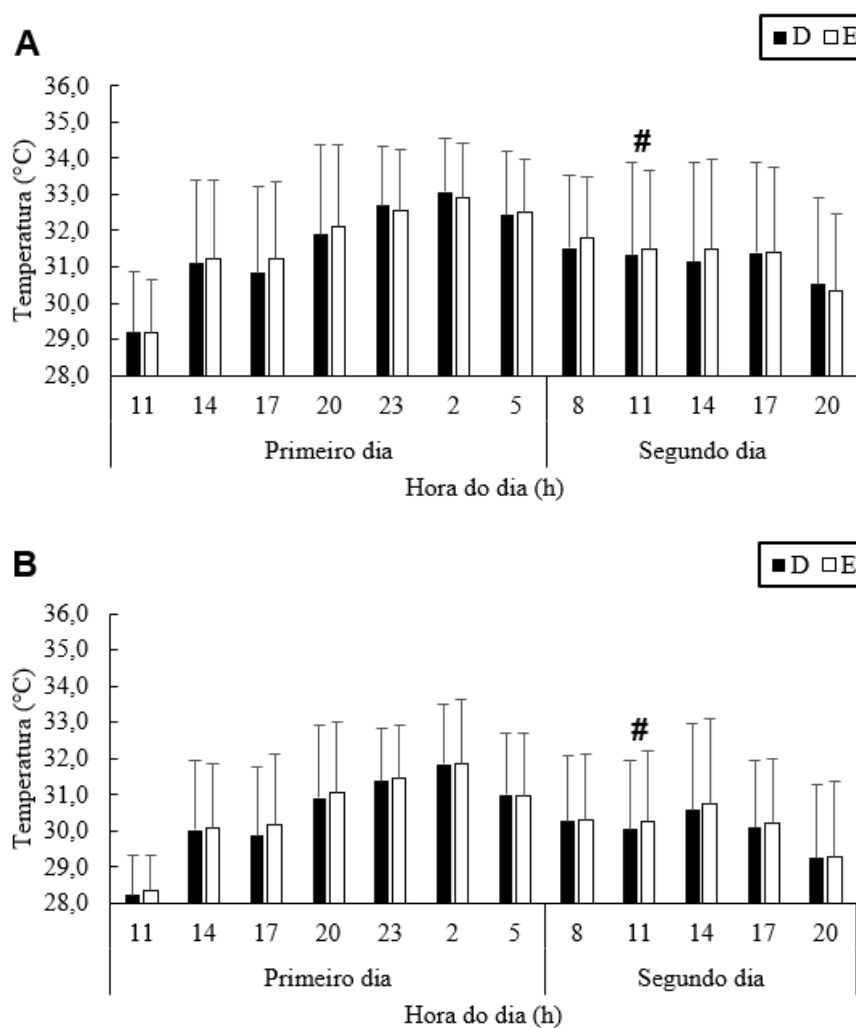
Nenhuma das RCIs analisadas, tanto na face anterior e na posterior, quanto nas escápulas, apresentou diferença estatística significativa ($p > 0,05$) ao analisar a TIR_{pele} contralateral e ainda também não apresentou interação entre o momento e a TIR_{pele} contralateral, demonstrando que a privação de sono não influencia na simetria da TIR_{pele} .

Porém, ao analisar o efeito da privação de sono, comparando os mesmos horários do segundo dia com o primeiro dia, percebe-se que houve alteração ao longo do tempo, pois foi atestado um aumento nos valores absolutos de TIR_{pele} no segundo dia. Esse comportamento ocorreu principalmente nos membros inferiores, coxas e pernas, que apresentaram maiores valores estatisticamente diferentes ($p < 0,05$), tanto na face anterior quanto na posterior nos últimos horários do protocolo de privação de sono.

A região das mãos na face anterior e na posterior (figura 15A e B) apresentou diferença estatística ($p < 0,05$) no horário de 11h. Nesse horário, a diferença da TIR_{pele} na região da mão anterior direita foi $2,1^{\circ}\text{C}$ ($33,1^{\circ}\text{C} - 29,2^{\circ}\text{C}$), e na mão esquerda foi de $2,3^{\circ}\text{C}$ ($31,5^{\circ}\text{C} - 29,2^{\circ}\text{C}$), na região posterior da mão direita foi

1,8°C (30,1°C – 28,2°C), e na da mão esquerda, foi 1,9°C (30,3°C – 28,24°C), mensurados por termografia.

Figura 15. Termografia da pele da mão nas faces anterior (A) e posterior (B) nos dimídios direito (D) e esquerdo (E).

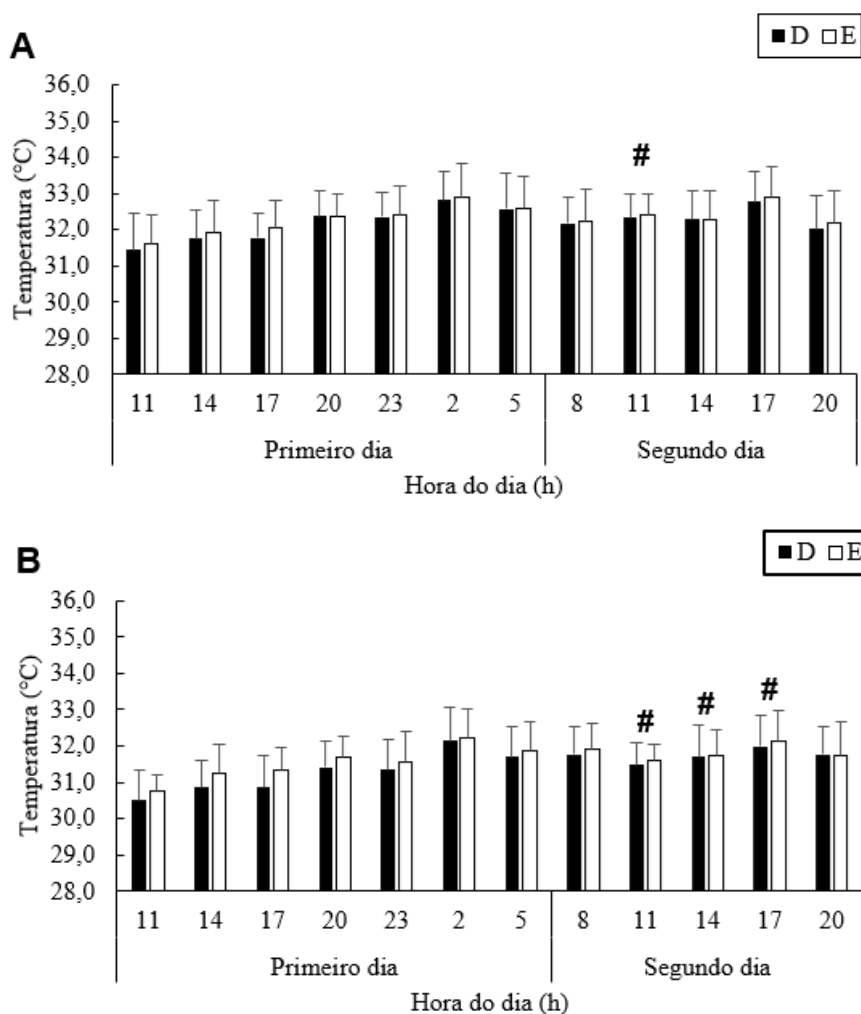


Fonte: Dados da pesquisa. ANOVA de medidas repetidas da região anterior (A) momento: $F_{4,583;91,668}=12,346$; $p=0,001$; $\eta^2=0,382$, lado: $F_{1; 20}=0,018$; $p=0,895$; $\eta^2=0,001$, interação: $F_{4,583; 91,668}=0,110$; $p=0,986$; $\eta^2=0,005$. Da região posterior (B) momento: $F_{3,937;55,120}=11,642$; $p=0,001$; $\eta^2=0,454$, lado: $F_{1; 14}=0,052$; $p=0,824$; $\eta^2=0,004$, interação: $F_{3,937;55,120}=0,035$; $p=0,997$; $\eta^2=0,002$. # Diferença estatística ($p < 0,05$) no horário correspondente ao primeiro dia.

A face anterior do antebraço (figura 16A) apresentou diferença estatística ($p < 0,05$) no horário de 11h; nesse horário, a diferença da TIR_{pele} no dimídio direito foi 0,9°C (32,1°C – 29,2°C) e no esquerdo foi de 0,8°C (32,4°C – 31,6°C). Na face posterior, o comportamento foi distinto apresentando diferença estatística ($p < 0,05$) nos horários de 11h, 14h e 17h. Nesses horários, respectivamente, a diferença da

TIR_{pele} no dimídio direito foi 1,0°C (31,5°C – 30,5°C), 0,8°C (31,7°C – 30,9°C) e 1,1°C (32,0°C – 30,9°C), e no dimídio esquerdo foi 0,8°C (31,6°C – 30,8°C), 0,5°C (31,7°C – 31,3°C) e 0,8°C (32,2°C – 31,3°C).

Figura 16. Termografia da pele do antebraço nas faces anterior (A) e posterior (B) nos dimídios direito (D) e esquerdo (E).

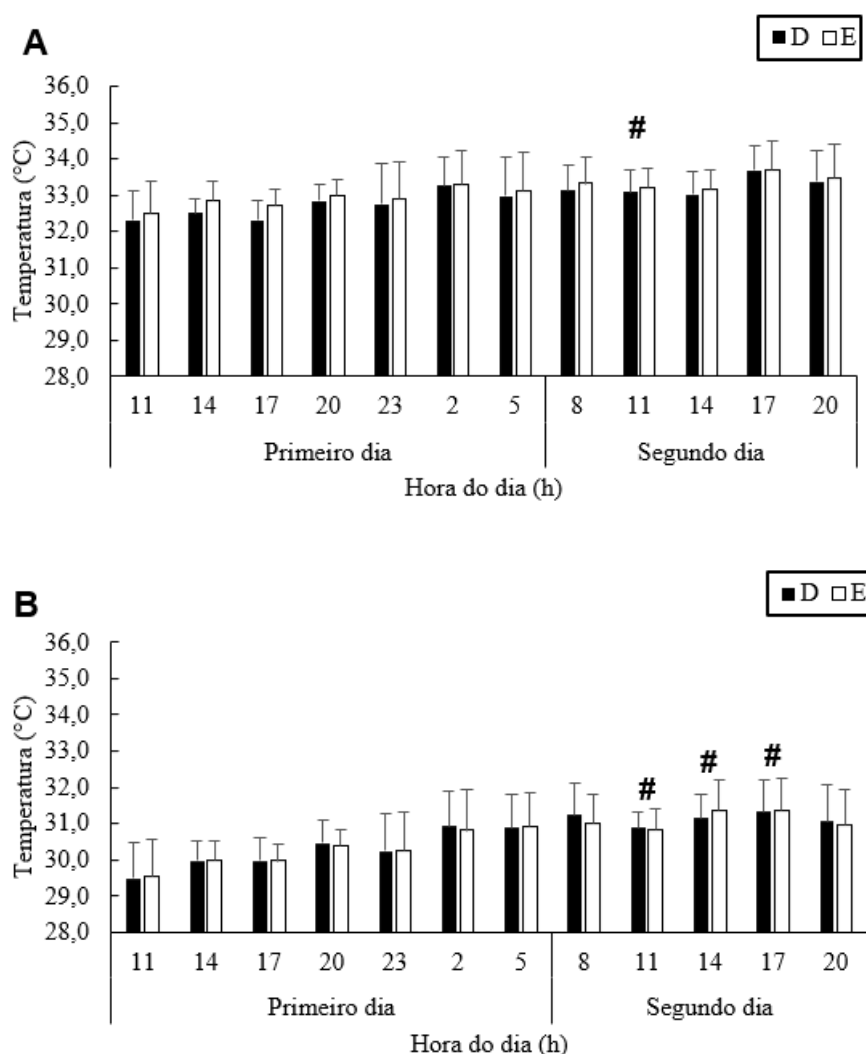


Fonte: Dados da pesquisa. ANOVA de medidas repetidas da região anterior (A) momento: $F_{3,410;68,197}=6,156$; $p=0,001$; $\eta^2=0,235$, lado: $F_{1;20}=0,367$; $p=0,551$; $\eta^2=0,018$, interação: $F_{3,410;68,197}=0,081$; $p=0,980$; $\eta^2=0,004$. Da região posterior (B) momento: $F_{3,753;75,056}=11,835$; $p=0,001$; $\eta^2=0,372$, lado: $F_{1;20}=0,847$; $p=0,368$; $\eta^2=0,041$, interação: $F_{3,753;75,056}=0,287$; $p=0,875$; $\eta^2=0,014$. # Diferença estatística ($p < 0,05$) no horário correspondente ao primeiro dia.

Na região do braço (figura 17A e B), o comportamento foi similar ao antebraço, apresentou diferença estatística ($p < 0,05$) no horário de 11h na face anterior e 11h, 14h e 17h na face posterior. No horário de 11h, na face anterior, a diferença da TIR_{pele} no dimídio direito foi 0,8°C (33,1°C – 32,3°C), e no esquerdo foi de 0,7°C (33,2°C – 32,5°C). Nos horários de 11h, 14h e 17h, na face posterior, respectivamente

a diferença no dimídio direito foi 1,4°C (30,9°C – 29,5°C), 1,2°C (31,2°C – 30,0°C) e 1,3°C (31,3°C – 30,0°C), e no dimídio esquerdo foi 1,3°C (30,8°C – 29,6°C), 1,4°C (31,4°C – 30,0°C) e 1,4°C (31,4°C – 30,0°C). Na face posterior do braço, a diferença encontrada do segundo dia para o primeiro dia foi superior à 1,2°C, enquanto na face anterior a diferença não superou 0,8°C; apesar de ambas as regiões apresentarem diferença estatística ($p < 0,05$), é notório que ocorreram diferentes ajustes de TIR_{pele} .

Figura 17. Termografia da pele do braço nas faces anterior (A) e posterior (B) nos dimídios direito (D) e esquerdo (E).



Fonte: Dados da pesquisa. ANOVA de medidas repetidas da região anterior (A) momento: $F_{4,020;80,394}=7,484$; $p=0,001$; $\eta^2=0,272$, lado: $F_{1;20}=0,853$; $p=0,367$; $\eta^2=0,041$, interação: $F_{4,020;80,394}=0,163$; $p=0,957$; $\eta^2=0,008$. Da região posterior (B) momento: $F_{4,108;82,168}=15,237$; $p=0,001$; $\eta^2=0,432$, lado: $F_{1;20}=0,010$; $p=0,920$; $\eta^2=0,001$, interação: $F_{4,108;82,168}=0,137$; $p=0,970$; $\eta^2=0,007$. # Diferença estatística ($p < 0,05$) no horário correspondente ao primeiro dia.

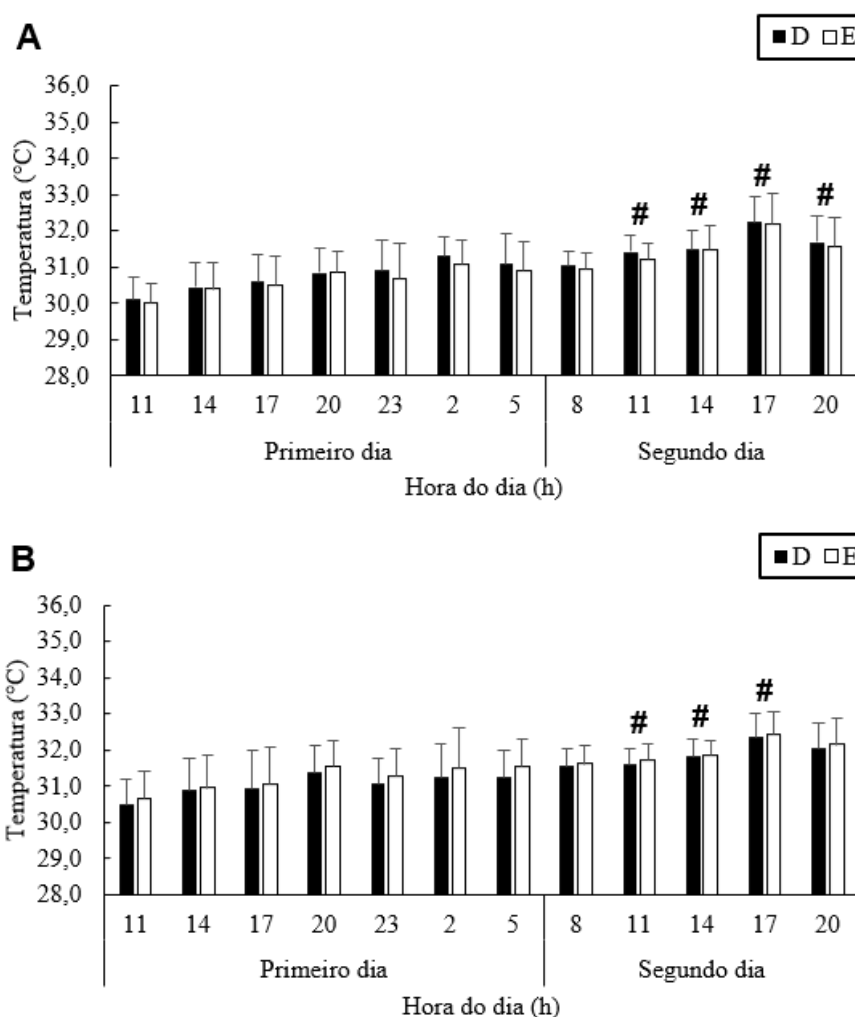
Nos membros apendiculares inferiores, os comportamentos foram semelhantes na face anterior e na posterior. Quando comparadas com os membros

superiores, a região das coxas e a das pernas apresentaram diferença estatística ($p < 0,05$) em mais horários na face anterior.

Na face anterior da coxa (figura 18A), a diferença ocorreu nos horários de 11h, 14h, 17h e 20h, respectivamente, a diferença da TIR_{pele} no dimídio direito foi 1,3°C (31,4°C – 30,1°C), 1,1°C (31,5°C – 30,4°C), 1,7°C (32,3°C – 30,6°C) e 0,9°C (31,7°C – 30,8°C), e no dimídio esquerdo foi 1,2°C (31,2°C – 30,0°C), 1,1°C (31,5°C – 30,4°C), 1,7°C (32,2°C – 30,5°C) e 0,7°C (31,6°C – 30,9°C).

A face posterior da coxa (figura 18B) demonstrou um comportamento semelhante à face anterior, porém não foi encontrada diferença estatística ($p < 0,05$) no horário de 20h. Assim, nos horários de 11h, 14h e 17h, respectivamente, a diferença da TIR_{pele} no dimídio direito foi 1,1°C (31,6°C – 30,5°C), 0,9°C (31,8°C – 30,9°C) e 1,4°C (32,4°C – 30,9°C), e no dimídio esquerdo foi 1,0°C (31,7°C – 30,7°C), 0,9°C (31,8°C – 30,9°C) e 1,3°C (32,4°C – 31,1°C).

Figura 18. Termografia da pele da coxa nas faces anterior (A) e posterior (B) nos dimídios direito (D) e esquerdo (E).



Fonte: Dados da pesquisa. ANOVA de medidas repetidas da região anterior (A) momento: $F_{4,982;99,640}=20,616$; $p=0,001$; $\eta^2=0,508$, lado: $F_{1;20}=0,585$; $p=0,453$; $\eta^2=0,028$, interação: $F_{4,982;99,640}=0,102$; $p=0,991$; $\eta^2=0,005$. Da região posterior (B) momento: $F_{4,190;83,801}=13,133$; $p=0,001$; $\eta^2=0,397$, lado: $F_{1;20}=0,702$; $p=0,412$; $\eta^2=0,034$, interação: $F_{4,190;83,801}=0,084$; $p=0,989$; $\eta^2=0,004$. # Diferença estatística ($p < 0,05$) no horário correspondente ao primeiro dia.

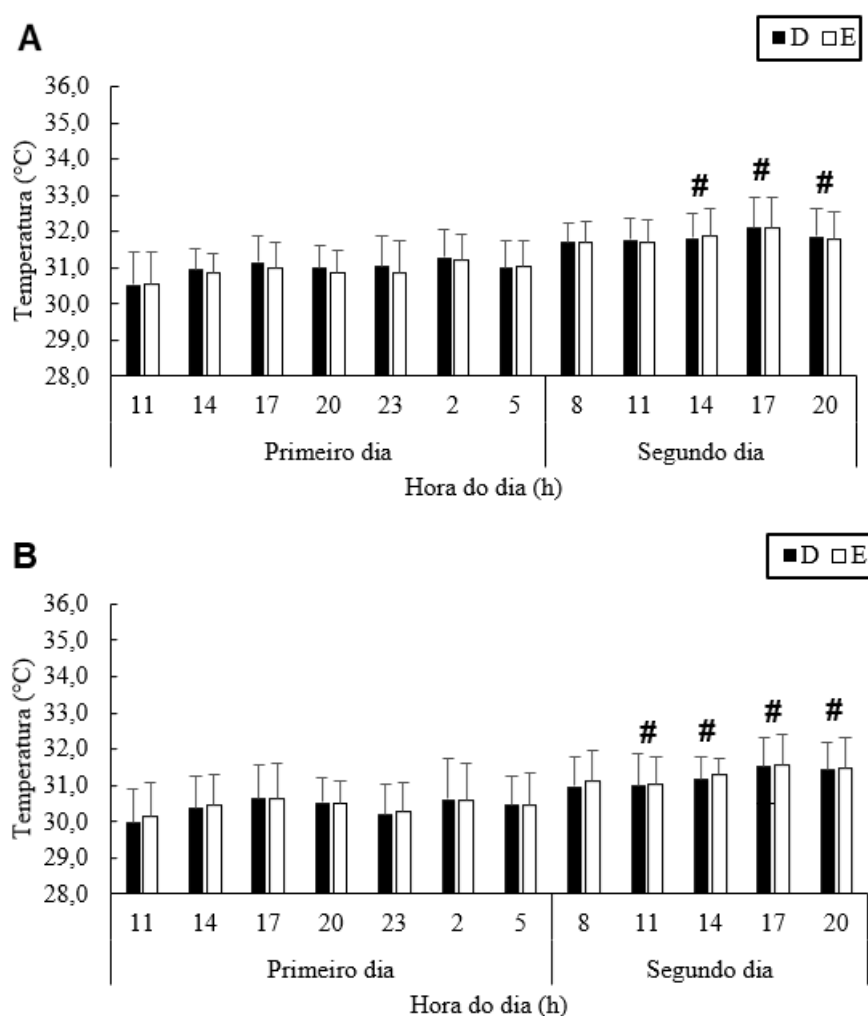
A figura 19 apresenta os dados da região da perna, nela também é observado um comportamento semelhante entre a face anterior e a posterior quando comparado às diferenças estatísticas ($p < 0,05$) encontradas entre o segundo dia e o primeiro dia.

Na face anterior (figura 19A), a diferença ocorreu nos três últimos horários (14h, 17h e 20h), respectivamente, a diferença da TIR_{pele} no dimídio direito foi $0,9^{\circ}\text{C}$ ($31,8^{\circ}\text{C} - 30,9^{\circ}\text{C}$), $0,9^{\circ}\text{C}$ ($32,1^{\circ}\text{C} - 31,2^{\circ}\text{C}$) e $0,9^{\circ}\text{C}$ ($31,9^{\circ}\text{C} - 31,0^{\circ}\text{C}$), e no dimídio

esquerdo foi 1,1°C (31,9°C – 30,8°C), 1,1°C (32,1°C – 30,8°C) e 0,9°C (31,8°C – 30,9°C).

A face posterior da perna (figura 19B) apresentou ainda diferença no horário de 11h, assim as diferenças estatísticas significantes ($p < 0,05$) ocorrem nos quatro últimos horários (11h, 14h, 17h e 20h), respectivamente essa diferença da TIR_{pele} no dimídio direito foi 1,0°C (31,0°C – 30,0°C), 0,8°C (31,2°C – 30,4°C), 0,9°C (31,5°C – 30,6°C) e 0,9°C (31,5°C – 30,6°C), e no dimídio esquerdo foi 0,9°C (31,0°C – 30,1°C), 0,8°C (31,3°C – 30,5°C), 0,9°C (31,6°C – 30,7°C) e 1,0°C (31,5°C – 30,5°C).

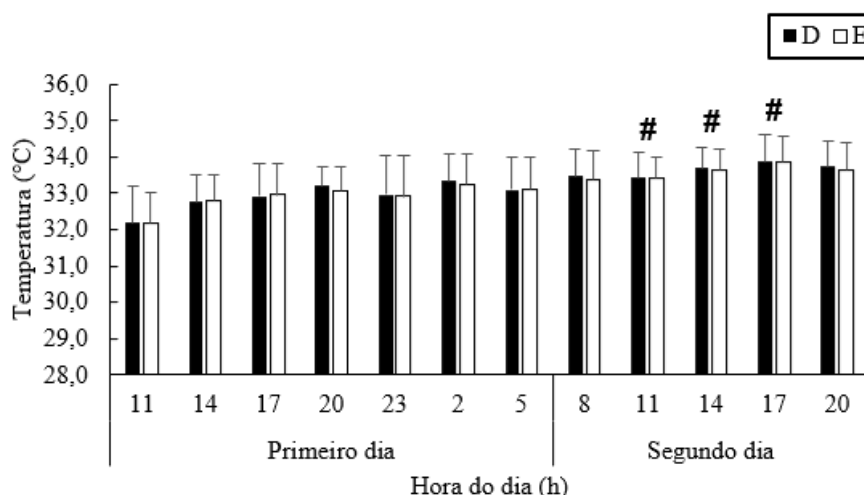
Figura 19. Termografia da pele da perna nas faces anterior (A) e posterior (B) nos dimídios direito (D) e esquerdo (E).



Fonte: Dados da pesquisa. ANOVA de medidas repetidas da região anterior (A) momento: $F_{2,235;46,708}=9,637$; $p=0,001$; $\eta^2=0,325$, lado: $F_{1;20}=0,014$; $p=0,907$; $\eta^2=0,001$, interação: $F_{2,235;46,708}=0,913$; $p=0,571$; $\eta^2=0,030$. Da região posterior (B) momento: $F_{4,654;93,082}=14,487$; $p=0,001$; $\eta^2=0,420$, lado: $F_{1;20}=0,036$; $p=0,852$; $\eta^2=0,002$, interação: $F_{4,654;93,082}=0,075$; $p=0,994$; $\eta^2=0,004$. # Diferença estatística ($p < 0,05$) no horário correspondente ao primeiro dia.

Na região central do corpo, foi analisada a área que compreende as escápulas no seu dimídio direito e esquerdo (figura 20). Apesar de ser uma região que apresentou menor variação da TIR_{pele} ao longo do dia, também ocorreu um aumento da TIR_{pele} no segundo dia. Os resultados demonstram que essa região também apresentou diferença estatística significativa ($p < 0,05$) nos horários 11h, 14h e 17h, respectivamente essa diferença da TIR_{pele} no dimídio direito foi 1,2°C (33,4°C – 32,2°C), 0,9°C (33,7°C – 32,8°C) e 1,0°C (33,9°C – 32,9°C), e no dimídio esquerdo foi 1,2°C (33,4°C – 32,2°C), 0,8°C (33,6°C – 32,8°C) e 0,9°C (33,9°C – 33,0°C).

Figura 20. Termografia da pele da região das escápulas nos dimídios direito (D) e esquerdo (E).



Fonte: Dados da pesquisa. ANOVA de medidas repetidas da região das escápulas. Momento: $F_{4,084;81,682}=13,093$; $p=0,001$; $\eta^2=0,396$, lado: $F_{1;20}=0,030$; $p=0,864$; $\eta^2=0,002$, interação: $F_{4,084;81,682}=0,048$; $p=0,996$; $\eta^2=0,002$.

Diferença estatística ($p < 0,05$) no horário correspondente ao primeiro dia.

A tabela 2 apresenta os valores de tamanho do efeito (*d de Cohen*) da privação de sono ao comparar os horários do segundo dia com os mesmos horários do primeiro dia. Como a TIR_{pele} apresentou um aumento no segundo dia, foi realizado o tamanho do efeito em complemento ao teste de significância estatística. A partir dessa análise, os resultados demonstram que a TIR_{pele} , após o período de privação de sono, mostrou em diversas regiões um aumento do efeito biológico classificado como grande e muito grande.

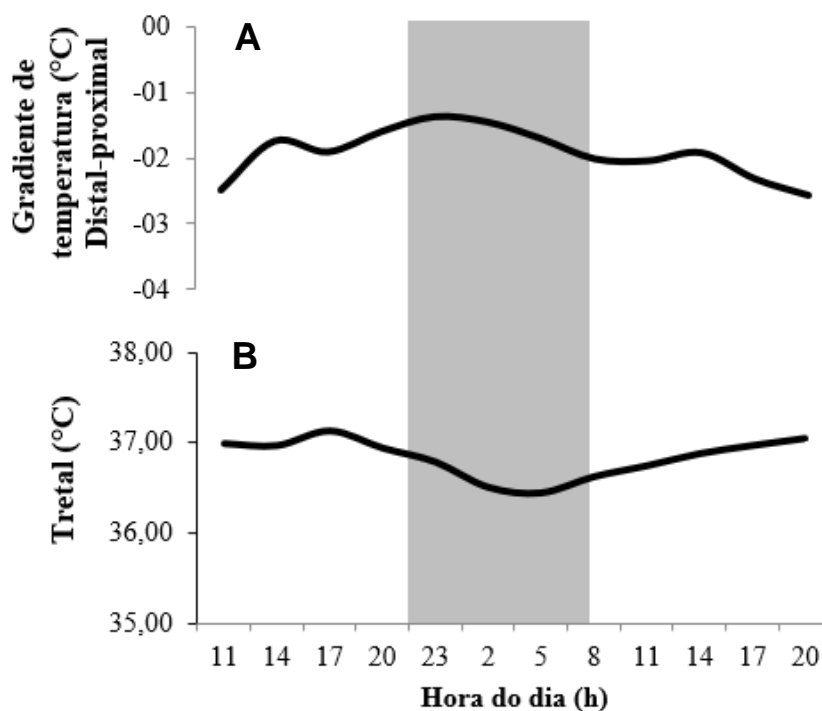
Tabela 2. Tamanho do efeito (*d* de Cohen), comparação entre os mesmos horários do primeiro e do segundo dia.

RCI ANTERIOR	Lado	11h-11h	14h-14h	17h-17h	20h-20h
Mão	D	1,00	0,02	0,23	0,57
Mão	E	1,24	0,11	0,08	0,82
Antebraço	D	1,03	0,67	1,29	0,44
Antebraço	E	1,10	0,42	1,03	0,25
Braço	D	1,05	1,00	2,22	0,79
Braço	E	0,96	0,60	1,59	0,68
Coxa	D	2,44	1,78	2,33	1,19
Coxa	E	2,51	1,50	2,05	1,06
Perna	D	1,61	1,38	1,20	1,24
Perna	E	1,53	1,63	1,42	1,40
RCI POSTERIOR					
Mão	D	1,17	0,26	0,12	0,82
Mão	E	1,25	0,32	0,03	0,87
Antebraço	D	1,34	1,02	1,32	0,47
Antebraço	E	1,84	0,63	1,11	0,11
Braço	D	1,78	2,02	1,78	0,70
Braço	E	1,52	1,97	1,95	0,76
Escápula	D	1,41	1,40	1,13	0,83
Escápula	E	1,69	1,26	1,13	0,80
Coxa	D	1,91	1,36	1,67	0,95
Coxa	E	1,75	1,27	1,65	0,83
Perna	D	1,14	1,03	1,03	1,30
Perna	E	1,05	1,26	1,01	1,30

Fonte: Dados da pesquisa. RCI: Região corporal de interesse; D: lado direito; E: lado esquerdo. Classificação como trivial ($d < 0,19$), pequeno ($0,2 < d < 0,49$), médio ($0,5 < d < 0,79$), grande ($0,8 < d < 1,29$) e muito grande ($>1,3$) (COHEN, 1988).

A figura 20 apresenta o delta de temperatura distal-proximal ($\Delta^{\circ}\text{C}$), representado como GDP (A) e a T_{retal} (B). Os resultados demonstram que a privação de sono modificou o comportamento da GDP no segundo dia e acentuou um comportamento inverso ao da T_{retal} ; um maior efeito de perda de calor e um aumento da T_{retal} ocorreram principalmente após as 14h do segundo dia. A GDP foi calculada utilizando os valores de $T_{\text{IR}_{\text{pele}}}$ obtidos pela câmera termográfica e a T_{retal} foi mensurada por uma sonda retal descartável.

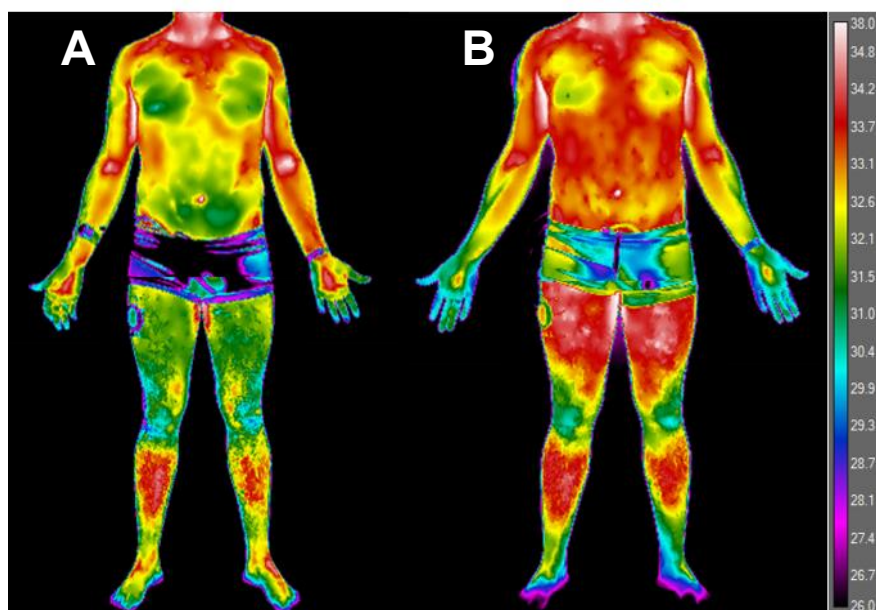
Figura 20. (A) Gradiente de temperatura distal-proximal ($\Delta^{\circ}\text{C}$). (B) Temperatura retal.



Fonte: Dados da pesquisa. (A) Gradiente de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) obtido pela diferença da temperatura da região distal – a temperatura proximal. (B) Temperatura mensurada por sonda retal.

A figura 21 apresenta um termograma de corpo todo com a fusão das imagens termográficas dos membros inferiores e superiores da face anterior realizadas no primeiro dia às 17 horas (A) e no segundo dia também às 17 horas (B). Numa análise qualitativa, e utilizando a barra de cores como referência, é possível perceber um aumento da TIR_{pele} em diversas RCI no segundo dia (referente a 33 horas de privação de sono), contudo também parece visível que a simetria da TIR_{pele} parece preservada.

Figura 21. Termografia infravermelha.



Fonte: Dados da pesquisa. O mesmo participante. A: Horário de 17h do primeiro dia. B: Horário de 17h do segundo dia. Fonte: Montagem realizado com duas imagens, membros superiores e membros inferiores. Dados da pesquisa.

As tabelas 3 e 4 apresentam os valores de TIR_{pele} máximos e mínimos de cada RCI; esses valores fornecem informações para uma avaliação simples, de distribuição de apenas um pixel individual em cada RCI. São dados não originados por processo de média, o que pode apresentar maior variação entre os indivíduos. Tendo em vista que outros estudos com TIR_{pele} podem utilizar a análise de dados de temperatura máximo e mínimo, os resultados são apresentados para futuras comparações.

De acordo com os resultados da tabela, ao analisar os desvios padrão, é possível afirmar que há uma maior variabilidade interindividual nos membros superiores em relação aos membros inferiores, tanto nos valores máximos quanto nos mínimos de TIR_{pele} . Ainda, mesmo que com os valores sendo obtidos de um único pixel, um padrão de simetria pode ser observado entre os dimídios direito e esquerdo.

Tabela 3. Valores máximos de temperatura (°C) dentro do RCI representados em média \pm desvio padrão.

Anterior		Primeiro dia					Segundo dia						
RCI	Lado	11 h	14 h	17 h	20 h	23 h	2 h	5 h	8 h	11 h	14 h	17 h	20 h
Mão	D	30,2 \pm 1,7	32,0 \pm 2,2	31,7 \pm 2,3	32,8 \pm 2,1	33,3 \pm 1,4	33,6 \pm 1,4	33,0 \pm 1,8	32,4 \pm 1,8	32,2 \pm 2,4	32,1 \pm 2,5	32,3 \pm 2,1	31,4 \pm 1,8
Mão	E	30,1 \pm 1,5	32,2 \pm 2,0	32,1 \pm 2,0	32,9 \pm 1,9	33,1 \pm 1,5	33,6 \pm 1,3	33,2 \pm 1,4	32,8 \pm 1,5	32,4 \pm 2,0	32,3 \pm 2,1	32,4 \pm 2,1	31,4 \pm 2,0
Antebraço	D	32,3 \pm 1,0	32,7 \pm 0,7	32,9 \pm 0,9	33,4 \pm 0,6	33,2 \pm 0,8	33,5 \pm 0,8	33,3 \pm 1,0	33,1 \pm 0,7	33,2 \pm 0,7	33,3 \pm 0,7	33,5 \pm 0,8	33,3 \pm 1,0
Antebraço	E	32,4 \pm 0,9	32,8 \pm 0,7	32,9 \pm 0,8	33,1 \pm 0,8	33,1 \pm 0,8	33,4 \pm 0,8	33,2 \pm 0,9	33,1 \pm 0,8	33,2 \pm 0,5	33,1 \pm 0,6	33,5 \pm 0,7	33,2 \pm 1,0
Braço	D	33,9 \pm 1,0	34,2 \pm 0,4	33,8 \pm 0,7	34,1 \pm 0,6	34,3 \pm 1,3	34,7 \pm 0,8	34,3 \pm 1,2	34,6 \pm 0,9	34,5 \pm 1,0	34,6 \pm 0,8	34,9 \pm 1,0	35,0 \pm 0,8
Braço	E	34,2 \pm 0,9	34,1 \pm 1,0	34,3 \pm 0,6	34,2 \pm 0,5	34,3 \pm 1,0	34,5 \pm 0,9	34,5 \pm 0,9	34,7 \pm 0,7	34,5 \pm 0,8	34,5 \pm 0,9	34,8 \pm 0,9	35,0 \pm 1,2
Coxa	D	30,8 \pm 0,7	30,8 \pm 1,6	31,4 \pm 0,9	31,9 \pm 1,1	31,7 \pm 0,9	32,3 \pm 0,7	32,2 \pm 1,0	32,0 \pm 0,6	32,4 \pm 0,7	32,4 \pm 0,7	33,2 \pm 0,7	32,6 \pm 0,8
Coxa	E	30,8 \pm 0,6	31,1 \pm 1,1	31,4 \pm 1,1	31,8 \pm 0,8	31,5 \pm 1,1	31,9 \pm 0,8	31,8 \pm 0,8	31,9 \pm 0,7	32,0 \pm 0,6	32,3 \pm 0,9	33,0 \pm 0,9	32,4 \pm 1,0
Perna	D	31,4 \pm 1,1	31,8 \pm 1,0	32,0 \pm 0,8	31,8 \pm 0,6	31,8 \pm 0,8	32,1 \pm 0,8	31,8 \pm 0,7	32,5 \pm 0,5	32,5 \pm 0,7	32,6 \pm 0,7	32,9 \pm 0,9	32,7 \pm 0,8
Perna	E	31,6 \pm 1,1	31,8 \pm 1,2	32,1 \pm 1,0	31,8 \pm 0,7	31,9 \pm 0,7	32,1 \pm 0,7	32,0 \pm 0,8	32,4 \pm 0,7	32,5 \pm 0,7	32,8 \pm 0,7	33,0 \pm 0,9	32,7 \pm 0,9
Posterior													
Mão	D	28,9 \pm 1,2	30,6 \pm 1,8	30,5 \pm 1,9	31,4 \pm 1,9	31,8 \pm 1,3	32,3 \pm 1,5	31,5 \pm 1,6	31,0 \pm 1,7	30,8 \pm 1,8	31,4 \pm 2,3	30,8 \pm 1,8	30,1 \pm 1,8
Mão	E	29,2 \pm 1,1	30,9 \pm 1,8	31,0 \pm 1,8	31,6 \pm 1,8	31,9 \pm 1,4	32,3 \pm 1,7	31,5 \pm 1,6	31,0 \pm 1,8	30,9 \pm 1,5	31,5 \pm 2,2	31,0 \pm 1,8	30,2 \pm 2,0
Antebraço	D	31,5 \pm 1,0	31,9 \pm 0,7	31,8 \pm 1,0	32,2 \pm 0,6	32,1 \pm 0,8	32,9 \pm 0,8	32,4 \pm 0,8	32,5 \pm 0,6	32,2 \pm 0,6	32,3 \pm 1,0	32,8 \pm 0,9	32,7 \pm 0,8
Antebraço	E	31,7 \pm 0,4	32,1 \pm 0,6	32,2 \pm 0,7	32,4 \pm 0,5	32,3 \pm 0,9	32,9 \pm 0,7	32,6 \pm 0,9	32,7 \pm 0,7	32,4 \pm 0,6	32,3 \pm 0,9	32,8 \pm 0,8	32,8 \pm 0,9
Tríceps	D	30,0 \pm 1,0	30,5 \pm 0,6	30,5 \pm 0,7	31,0 \pm 0,7	30,7 \pm 1,2	31,5 \pm 1,0	31,5 \pm 0,9	32,0 \pm 1,1	31,3 \pm 0,6	31,6 \pm 0,6	31,9 \pm 0,9	31,6 \pm 1,0
Tríceps	E	30,3 \pm 1,2	30,8 \pm 0,6	30,7 \pm 0,7	31,5 \pm 0,7	31,1 \pm 1,2	31,8 \pm 1,3	31,9 \pm 1,4	31,7 \pm 0,9	31,9 \pm 1,0	32,0 \pm 1,2	32,2 \pm 1,2	31,9 \pm 1,4
Escápula	D	32,9 \pm 1,0	33,6 \pm 0,7	33,6 \pm 1,0	33,8 \pm 0,4	33,5 \pm 1,0	33,8 \pm 0,7	33,6 \pm 0,8	34,0 \pm 0,6	33,9 \pm 0,7	34,2 \pm 0,5	34,3 \pm 0,7	34,4 \pm 0,7
Escápula	E	32,9 \pm 0,8	33,4 \pm 0,7	33,5 \pm 1,0	33,7 \pm 0,5	33,6 \pm 1,1	33,9 \pm 0,8	33,7 \pm 0,9	34,1 \pm 0,8	34,1 \pm 0,6	34,0 \pm 0,6	34,4 \pm 0,8	34,3 \pm 0,8
Coxa	D	31,3 \pm 0,9	31,6 \pm 1,1	31,8 \pm 0,9	32,3 \pm 0,9	32,0 \pm 0,6	32,3 \pm 0,8	32,1 \pm 1,0	32,3 \pm 0,4	32,3 \pm 0,4	32,7 \pm 0,5	33,3 \pm 0,6	32,9 \pm 0,6
Coxa	E	31,4 \pm 0,8	31,7 \pm 1,3	31,9 \pm 1,2	32,4 \pm 0,9	32,1 \pm 0,8	32,5 \pm 1,1	32,3 \pm 1,1	32,5 \pm 0,6	32,4 \pm 0,5	32,6 \pm 0,5	33,3 \pm 0,6	32,8 \pm 0,8
Perna	D	30,8 \pm 0,7	31,1 \pm 1,1	31,4 \pm 0,9	31,2 \pm 0,7	31,1 \pm 0,7	31,3 \pm 1,1	31,1 \pm 1,1	31,6 \pm 0,9	31,7 \pm 0,8	32,0 \pm 0,6	32,2 \pm 0,7	32,1 \pm 1,0
Perna	E	31,0 \pm 1,0	31,1 \pm 1,0	31,5 \pm 1,3	31,3 \pm 0,7	31,1 \pm 1,1	31,4 \pm 1,3	31,1 \pm 1,2	32,0 \pm 1,0	31,7 \pm 0,8	32,0 \pm 0,5	32,3 \pm 1,1	32,2 \pm 1,3

Fonte: Dados da pesquisa. RCI: Região corporal de interesse; D= lado direito; E=lado esquerdo.

Tabela 4. Valores mínimos de temperatura (°C) dentro do RCI representados em média \pm desvio padrão.

Anterior		Primeiro dia					Segundo dia						
RCI	Lado	11 h	14 h	17 h	20 h	23 h	2 h	5 h	8 h	11 h	14 h	17 h	20 h
Mão	D	28,0 \pm 1,7	30,1 \pm 2,6	29,5 \pm 2,9	31,0 \pm 2,8	31,8 \pm 2,1	32,2 \pm 1,7	31,4 \pm 2,1	30,5 \pm 2,4	30,4 \pm 2,9	30,2 \pm 3,3	30,0 \pm 2,8	28,7 \pm 3,0
Mão	E	28,1 \pm 1,4	30,0 \pm 2,4	30,0 \pm 2,7	31,0 \pm 2,7	31,5 \pm 2,4	32,1 \pm 1,7	31,4 \pm 1,7	30,6 \pm 2,0	30,2 \pm 2,6	30,1 \pm 2,9	30,2 \pm 2,6	29,0 \pm 2,5
Antebraço	D	30,6 \pm 1,1	30,6 \pm 1,0	30,3 \pm 1,4	31,3 \pm 1,1	31,6 \pm 0,7	31,9 \pm 1,0	31,7 \pm 1,1	31,3 \pm 0,8	31,3 \pm 0,8	31,3 \pm 1,1	31,7 \pm 1,0	29,4 \pm 3,1
Antebraço	E	30,6 \pm 1,0	31,2 \pm 1,1	31,1 \pm 1,2	30,0 \pm 2,4	31,9 \pm 0,7	32,2 \pm 0,9	31,9 \pm 0,9	30,3 \pm 2,8	31,4 \pm 0,9	31,5 \pm 0,8	31,9 \pm 1,1	30,7 \pm 0,9
Braço	D	31,0 \pm 0,9	30,9 \pm 1,7	31,2 \pm 0,6	31,7 \pm 0,7	31,4 \pm 1,3	32,1 \pm 1,0	31,9 \pm 1,1	31,8 \pm 1,1	31,9 \pm 0,7	31,9 \pm 0,6	32,6 \pm 0,8	31,5 \pm 1,7
Braço	E	31,3 \pm 0,9	31,7 \pm 0,5	31,5 \pm 0,5	32,1 \pm 0,7	32,1 \pm 1,6	32,4 \pm 0,9	32,2 \pm 1,1	32,4 \pm 0,8	32,2 \pm 0,5	32,1 \pm 0,5	32,7 \pm 0,8	32,2 \pm 1,0
Coxa	D	29,3 \pm 0,5	29,8 \pm 1,3	29,5 \pm 0,8	29,7 \pm 0,6	30,2 \pm 0,9	30,3 \pm 0,7	30,1 \pm 0,7	30,0 \pm 1,1	30,5 \pm 0,6	30,5 \pm 1,1	31,1 \pm 1,5	30,9 \pm 0,7
Coxa	E	29,2 \pm 0,5	29,7 \pm 0,9	29,8 \pm 0,7	29,8 \pm 0,5	29,8 \pm 1,1	30,3 \pm 0,7	30,0 \pm 1,0	30,1 \pm 0,6	30,4 \pm 0,4	30,7 \pm 0,8	31,2 \pm 0,9	30,7 \pm 0,8
Perna	D	29,4 \pm 0,7	30,0 \pm 0,7	30,1 \pm 0,9	30,2 \pm 0,8	30,2 \pm 1,0	30,6 \pm 0,8	30,3 \pm 0,9	30,8 \pm 0,6	30,9 \pm 0,7	31,0 \pm 0,8	31,2 \pm 1,0	30,9 \pm 0,9
Perna	E	29,2 \pm 0,8	29,9 \pm 0,7	29,8 \pm 0,9	29,7 \pm 0,7	29,9 \pm 1,1	30,4 \pm 0,8	30,1 \pm 0,9	30,7 \pm 0,5	30,7 \pm 0,6	30,9 \pm 0,8	31,2 \pm 0,8	30,5 \pm 0,8
Posterior													
Mão	D	27,4 \pm 1,1	28,9 \pm 1,9	29,2 \pm 2,1	30,3 \pm 2,1	30,8 \pm 1,5	31,3 \pm 1,7	30,3 \pm 1,6	29,5 \pm 2,0	29,3 \pm 2,2	29,7 \pm 2,3	29,3 \pm 2,0	28,2 \pm 2,6
Mão	E	27,6 \pm 1,0	29,1 \pm 1,8	29,3 \pm 2,2	30,4 \pm 2,1	30,8 \pm 1,5	31,3 \pm 1,7	30,3 \pm 1,7	29,5 \pm 1,8	29,3 \pm 2,0	29,8 \pm 2,5	29,5 \pm 2,0	28,5 \pm 2,2
Antebraço	D	29,5 \pm 0,8	29,2 \pm 1,9	28,9 \pm 2,8	30,7 \pm 1,1	30,7 \pm 0,9	31,4 \pm 1,1	31,0 \pm 1,0	30,8 \pm 1,1	30,6 \pm 0,8	30,6 \pm 1,2	31,0 \pm 1,6	30,7 \pm 1,0
Antebraço	E	29,8 \pm 0,5	30,4 \pm 1,1	30,5 \pm 0,8	30,7 \pm 1,0	30,8 \pm 0,9	31,5 \pm 1,0	31,0 \pm 1,1	31,0 \pm 0,9	30,7 \pm 0,7	30,9 \pm 0,9	31,3 \pm 1,0	30,8 \pm 1,0
Tríceps	D	28,7 \pm 1,1	29,5 \pm 0,6	29,2 \pm 0,7	29,8 \pm 0,7	29,1 \pm 1,6	29,9 \pm 1,3	30,2 \pm 1,4	30,1 \pm 1,3	30,5 \pm 0,4	30,6 \pm 0,8	30,2 \pm 1,4	30,7 \pm 1,0
Tríceps	E	29,2 \pm 1,0	29,6 \pm 0,5	29,6 \pm 0,4	30,0 \pm 0,5	29,9 \pm 1,0	30,5 \pm 1,1	30,5 \pm 0,9	30,7 \pm 0,8	30,5 \pm 0,5	31,0 \pm 0,7	30,9 \pm 0,9	30,5 \pm 0,9
Escápula	D	30,7 \pm 2,2	30,9 \pm 2,0	31,7 \pm 2,0	31,9 \pm 1,9	32,1 \pm 1,4	32,4 \pm 1,0	32,5 \pm 1,1	32,5 \pm 1,3	32,5 \pm 0,9	32,9 \pm 1,2	33,2 \pm 1,1	33,0 \pm 0,7
Escápula	E	31,4 \pm 0,9	32,0 \pm 0,9	32,1 \pm 1,1	32,5 \pm 0,8	32,2 \pm 1,1	32,6 \pm 0,8	32,4 \pm 0,9	32,7 \pm 0,9	32,7 \pm 0,6	33,1 \pm 0,8	33,2 \pm 0,8	32,9 \pm 0,9
Coxa	D	29,2 \pm 1,0	29,3 \pm 1,6	29,7 \pm 1,4	30,0 \pm 1,8	29,8 \pm 1,3	29,8 \pm 1,4	30,3 \pm 1,3	30,5 \pm 0,8	30,5 \pm 1,0	30,9 \pm 0,6	30,1 \pm 2,3	30,7 \pm 2,0
Coxa	E	29,6 \pm 1,0	30,0 \pm 1,0	30,2 \pm 1,2	30,6 \pm 0,6	30,5 \pm 0,9	30,5 \pm 1,1	30,9 \pm 0,7	31,0 \pm 0,5	31,0 \pm 0,4	31,1 \pm 0,5	31,7 \pm 0,7	31,3 \pm 1,0
Perna	D	29,3 \pm 0,9	29,7 \pm 0,8	29,9 \pm 0,8	29,9 \pm 0,7	29,5 \pm 0,9	30,0 \pm 1,2	30,0 \pm 0,7	30,4 \pm 0,6	30,4 \pm 0,8	30,6 \pm 0,6	30,9 \pm 0,8	30,6 \pm 0,9
Perna	E	29,4 \pm 0,9	29,7 \pm 1,0	29,9 \pm 1,1	29,8 \pm 0,6	29,5 \pm 0,9	29,9 \pm 1,0	29,9 \pm 0,8	30,5 \pm 0,7	30,5 \pm 0,7	30,6 \pm 0,6	30,9 \pm 0,8	30,7 \pm 1,0

Fonte: Dados da pesquisa. RCI: Região corporal de interesse; D= lado direito; E=lado esquerdo.

5 DISCUSSÃO

O resultado do estudo refuta a hipótese de que a privação de sono de 36 horas poderia modificar a simetria bilateral da TIR_{pele} , causando um desequilíbrio entre os dimídios corporais, porém confirma a hipótese de que a privação de sono modifica a TIR_{pele} , apresentando aumento da temperatura nas RCIs analisadas.

Estudos anteriores descreveram a ocorrência de variações circadianas da TIR_{pele} (COSTA *et al.*, 2015; COSTA *et al.*, 2018), portanto os dados apresentados que demonstram aumento da TIR_{pele} foram obtidos comparando os mesmos horários do primeiro dia com os do segundo dia, sendo o segundo dia após uma noite de privação de sono. Destaca-se que, nas três noites anteriores ao primeiro dia, os participantes apresentaram tempo de sono habitual, assim as mensurações realizadas no primeiro dia do protocolo foram consideradas como valores basais.

De uma forma geral, os resultados apresentam valores absolutos de TIR_{pele} no segundo dia maiores que no primeiro e, em alguns momentos, apresentam diferença estatística significativa ($p < 0,05$). O aumento da TIR_{pele} pode ser indicativo de maior vasodilatação das arteríolas da pele devido ao aumento da propensão ao sono induzido pela privação (PROCTOR *et al.*, 1991). Esses resultados do presente estudo indicam como são complexos os ajustes termorregulatórios devido à privação de sono, e que eles podem alterar o perfil térmico mensurado pela câmera termográfica.

As regiões das mãos, que são importantes regiões de perda de calor, têm sido apresentadas como mais suscetíveis a oscilações diárias nos valores de TIR_{pele} (COSTA *et al.*, 2015; COSTA *et al.*, 2018). Os resultados desse estudo convergem com estudos anteriores e apresentaram a variações durante as 36 horas de privação de sono, apesar de apresentar diferença estatística apenas em um horário (11 h) quando comparado o primeiro com o segundo dia. As variações encontradas na TIR_{pele} das regiões das mãos sugerem diferentes ajustes termogênicos nessas RCIs na medida em que o tempo acordado aumenta. As mãos também apresentam maiores valores de desvio padrão, o que representa uma maior variação interindividual. Essas variações podem ser justificadas pelo fato de as regiões distais, principalmente as mãos, serem zonas que possuem maior função vasomotora de perda de calor (MACHADO-MOREIRA *et al.*, 2008).

Durante o período de análise, também foram registradas variações nas RCIs mais proximais, coxas, bíceps braquial, tríceps braquial e escápulas, porém essas regiões não apresentaram diferença estatística na simetria térmica bilateral. Essa diferença também não foi encontrada em estudos recentes em condições de sono habitual e com equipamentos de termografia mais eficazes (VARDASCA *et al.*, 2012; COSTA *et al.*, 2015; COSTA *et al.*, 2018). Isso demonstra que, apesar das oscilações diárias já demonstradas, um período de vigília prolongado não foi suficiente para que os hemisferos pudessem apresentar variações diferentes e, assim, modificar a simetria bilateral da TIR_{pele} .

A TIR_{pele} tem sido usada nas situações em que a T_{pele} pode refletir a presença de inflamação tecidual ou em que há alteração de fluxo sanguíneo devido à anormalidade clínica ou à carga de treinamento. O uso no esporte tem se baseado na premissa da simetria bilateral da TIR_{pele} com objetivos de detectar lesões (HILDEBRANDT *et al.*, 2010; HADZIC *et al.*, 2019) e auxiliar na análise da atividade muscular para melhorar o movimento técnico e a coordenação motora em esportes simétricos (CHUDECKA *et al.*, 2015).

Um estudo piloto prospectivo realizado com jogadores de futebol profissional demonstrou que, quando a diferença na T_{pele} contralateral fosse maior que $0,4^{\circ}\text{C}$, um protocolo de prevenção de lesão era iniciado, e os resultados preliminares apontaram redução no número de lesões (CORTE *et al.*, 2019). Assim, nossos resultados permitem afirmar que a privação de sono não comprometeria a indicação de início de um protocolo de prevenção de lesão através de um falso positivo, pois as diferenças de TIR_{pele} encontradas entre o lado direito e o esquerdo não ultrapassaram o valor médio de $0,5^{\circ}\text{C}$, com 90% dos casos compreendidos entre as diferenças de $0,0^{\circ}\text{C}$ e $0,2^{\circ}\text{C}$ (figura 14). Também pode ser convergente com alguns estudos que consideraram a diferença de até $0,5^{\circ}\text{C}$ como sendo insignificantes (JONES, 1998; NIU *et al.*, 2001). Contudo, em segmentos corporais distais superiores, mãos e antebraços, que são mais influenciados pela perda de calor e apresentaram maior variabilidade interindividual, é sugerido um maior cuidado na interpretação dessa diferença da TIR_{pele} .

Ainda vale salientar que o tempo acordado aumentou a TIR_{pele} principalmente nos membros inferiores, coxas (18 A e B) e pernas (figura 19 A e B), conseqüentemente sugerimos atenção a esse aumento, pois poderia ser um indicativo de falso positivo em análise de carga de treinamento. Esse aumento também poderia

diminuir a possibilidade de detectar uma possível diferença contralateral, já que o membro não lesionado pode apresentar valores mais altos de TIR_{pele} em decorrência da privação de sono e, assim, aproximar aos valores de TIR_{pele} do membro lesionado. Não é possível afirmar com resultados que indivíduos com alteração prévia da simetria poderiam modificar essa condição em decorrência do tempo acordado e, assim, comprometer a análise na prevenção de lesões.

Dessa forma, em dias de treinos e competições importantes, torna-se necessário conscientizar a equipe técnica e os atletas dos benefícios do sono restaurador e da redução do tempo acordado. Contudo, caso o atleta não respeite essa etapa de recuperação, por atividades sociais ou problemas de distúrbio do sono, promoverá uma alteração em seu perfil térmico habitual, o que pode gerar interpretações inadequadas.

Em condições laboratoriais controladas e termoneutras, utilizando um protocolo de rotina constante, quando os participantes foram mantidos acordados por um período de 38 horas, o ritmo circadiano da T_{pele} das regiões distais, como as dos pés, as das mãos e as das orelhas, mostrou amplitude maior e em oposição ao ritmo da $T_{central}$, sendo baixa durante o dia e alta à noite (KRAUCHI e WIRZ-JUSTICE, 1994). O resultado do nosso estudo corroborou isso, pois as mãos apresentaram um ritmo circadiano oposto ao da T_{retal} . A mensuração da T_{retal} foi utilizada para ratificar que o protocolo adotado não iria comprometer o ritmo circadiano da $T_{central}$ e conseqüentes modificações não esperadas na TIR_{pele} . O ritmo circadiano da $T_{central}$ é determinado pelo aumento da T_{pele} em consequência da vasodilatação ocasionada pela necessidade de perda de calor, sendo o ritmo diurno da produção de calor menos evidente nesse processo (REFINETTI e MENAKER, 1992; KRAUCHI e WIRZ-JUSTICE, 1994).

O hormônio melatonina na circulação, outro marcador fisiológico circadiano, resulta em vasodilatação periférica, responsável em grande parte pela perda de calor no período noturno. Seu efeito no fluxo sanguíneo da pele pode ser através dos mecanismos centrais (AOKI *et al.*, 2006) ou relacionados aos receptores no músculo liso endotelial (ZHAO *et al.*, 2017), porém esses efeitos na função vascular são complexos, podendo causar vasoconstrição em algumas artérias e vasodilatação em outras (ZHAO *et al.*, 2017). Isso permite supor que modificações na função vascular no período noturno, durante período prolongado de tempo acordado (DAVIES *et al.*, 2014), poderiam refletir no aumento da TIR_{pele} e modificações na

simetria bilateral. Entretanto, de acordo com nossos resultados, foi possível demonstrar apenas o aumento da TIR_{pele} em decorrência do tempo acordado, não havendo influências na simetria bilateral nessas regiões que demonstraram aumento da temperatura.

Um estudo experimental controlado analisou o efeito de 40 horas de privação do sono em circunstâncias termoneutras confortáveis (temperatura ambiente de 22°C) na perda de calor corporal mensurada por termopares para obtenção do GDP. Nessa ocasião, os autores concluíram que a privação de sono não apresentou efeito sobre o sistema termorregulatório (KRAUCHI *et al.*, 2006), ademais o estudo utilizou protocolo de posição constante semissupina, o que pode ter influenciado o resultado e ainda utilizou medidas com termopares de contato e não TIR_{pele} .

Haja vista que a posição ortostática pode facilitar a vasodilatação da pele, nosso resultado contraria o estudo supracitado, demonstrando aumento da TIR_{pele} . Essas diferenças nos resultados podem estar relacionadas principalmente a dois fatores: o método de mensuração da T_{pele} e a diferença do protocolo utilizado de rotina constante. O uso do método com termopares no estudo de Krauchi *et al.* (2006) já demonstrou resultados diferentes nos valores obtido com o uso da TIR_{pele} , porque o termopar utiliza a mensuração em um ponto específico, enquanto a TIR_{pele} consegue abranger uma maior região do corpo. Ainda é importante considerar que, durante o protocolo, os participantes mantiveram constante a posição corporal. Durante nosso protocolo de rotina constante, apenas no período de aclimatação (> 10 min.) e durante a coleta das imagens térmicas que foi exigido que os participantes ficassem na posição de pé (figura 11). Porém, é sabido que as pessoas submetidas a situações de privação de sono prolongada preferem tentar manter uma postura sentada ou bípede para resistir à sonolência (TE LINDERT e VAN SOMEREN, 2018).

A partir dessa conclusão e dos nossos resultados, é possível afirmar que o esforço físico para manutenção da posição corporal ereta durante o protocolo empregado não foi capaz de influenciar na simetria bilateral da TIR_{pele} . Tal dado é importante, já que esse esforço físico adicional pode ser realizado por indivíduos em condições de privação e de restrição de sono, que, posteriormente, possam ser avaliadas utilizando a TIR_{pele} .

Os estudos com protocolos de privação de sono têm utilizado a mensuração da T_{pele} por termopares de contato (SAWKA *et al.*, 1984; KOLKA e STEPHENSON, 1988; FUJITA *et al.*, 2003; KRAUCHI *et al.*, 2006; ROMEIJN *et al.*,

2012), e não encontramos na literatura estudos que tenham usado a TIR_{pele} para avaliar indivíduos em decorrência do tempo de vigília prolongado. Para tanto, diante da aplicação prática da TIR_{pele} na medicina e no esporte, com a capacidade de mensurações de diversas regiões do corpo, tornou-se interessante seu uso nessa condição de privação de sono a fim de detectar diferenças no comportamento da TIR_{pele} , principalmente a ocorrência de assimetria contralateral, já que, em condições normais, o corpo deve apresentar simetria da temperatura da pele (HERRY e FRIZE, 2004). Apesar de os resultados não demonstrarem influência na simetria, a TIR_{pele} demonstrou ser sensível ao protocolo utilizado, o que permite indicar seu uso para mensurações de variações de T_{pele} em estudos relacionados à privação de sono, além de ser uma medida rápida, também proporciona um mapeamento corporal. Isso é importante porque os resultados do presente estudo mostraram diferentes comportamentos nas RCIs.

No primeiro dia de avaliação, a queda da T_{retal} acentuou-se próximo das 21 horas, e GDP demonstrou um aumento no período noturno. Esse aumento da GDP ocorre com aumento da TIR_{pele} das regiões distais, aproximando-se da TIR_{pele} das regiões proximais (tronco). Essa menor diferença resulta em maior GDP. A vasodilatação, particularmente nas mãos e nos pés (T_{pele} das regiões distais), é um bom preditor da iniciação do sono (KRAUCHI *et al.*, 1999), essa vasodilatação é geralmente considerada parte do declínio circadiano da temperatura e é observada até duas horas antes do início do primeiro episódio de sono, ainda durante a fase de vigília (KRAUCHI *et al.*, 2000).

De acordo com Harding *et al.* (2019), à medida que o sono se aproxima, a $T_{central}$ diminui e seu declínio mais acentuado acontece na ausência da luz e no início do sono. Nesse ponto, o GDP é de até $1,5^{\circ}\text{C}$, mas, quando a $T_{central}$ aumenta sua queda, o GDP reduz-se para cerca de $0,5^{\circ}\text{C}$, e um novo ponto de ajuste mais frio é alcançado logo após o início do sono. Ao compararmos a T_{retal} e o GDP no segundo dia com o primeiro dia, é possível perceber um comportamento diferente (oposto) entre 17 e 20 horas. Nesse momento, no primeiro dia (sem privação de sono), a T_{retal} apresentou uma queda, e, no segundo dia, a T_{retal} apresentou um aumento, o que poderia representar um arrastamento da fase do ritmo circadiano. Nesse mesmo momento, a GDP também apresenta comportamentos opostos, com diminuição no primeiro dia, representando uma perda de calor, e, no segundo dia, ocorreu um aumento da GDP, demonstrando que a privação de sono pode ter ocasionado uma

interrupção da resposta vasodilatadora periférica, o que tem demonstrado ser suficiente para interromper o sono (HARDING *et al.*, 2019).

Os valores de GDP encontrados nesse estudo (-1,4 a -2,6) diferem de estudos anteriores sem condição de privação de sono (KRAUCHI *et al.*, 2000; HARDING *et al.*, 2019), o que sugere que a privação de sono com exposição à luz pode ter atenuado o aumento da GDP. Em relação às regiões distais da pele, estudo realizado com indivíduos privados de sono por uma noite e comparados a outros que tiveram uma noite de sono habitual demonstrou modificações no GDP. Segundo os autores, as modificações encontradas sugerem que a privação de sono altera o controle simpático do fluxo sanguíneo da pele das mãos e pés, com ativação da perda de calor especialmente nas regiões dos pés (ROMEIJN *et al.*, 2012).

6 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

É importante destacar algumas limitações do estudo diante das dificuldades de um protocolo de rotina constante na condição de 36 horas de privação de sono.

O estudo foi realizado com homens jovens, portanto os resultados não devem ser extrapolados e utilizados como informação para mulheres, adultos mais velhos ou idosos, haja vista a diferença no sistema termorregulatório dessas populações.

A ausência de mensurações dos hormônios melatonina e cortisol relacionados ao ritmo biológico.

Também poderia ter sido interessante ter o registro da linha base de um período de sono normal, antes da ação experimental em ambiente laboratorial, para avaliar o comportamento da temperatura central. Apesar do uso da actigrafia para coletar informações do sono das três noites anteriores ao início do protocolo, e também de a literatura apresentar estudos com o delineamento experimental similar ao empregado nesse estudo, essas noites anteriores foram realizadas nas residências, o que impede o monitoramento direto da rotina do participante.

7 IMPLICAÇÕES PRÁTICAS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Com a evolução da tecnologia das câmeras de TIR, que tem proporcionado equipamentos portáteis e de fácil transporte, seu uso tem despertado interesse em um número maior de profissionais da área da saúde e do esporte. Identificar novos fatores intervenientes e acrescentá-los à literatura já existente tornam o método mais confiável e minimizam os equívocos nas análises de temperatura da pele. A partir da identificação da influência da privação de sono na TIR_{pele} , o controle do padrão de sono bem como a identificação de distúrbios de sono deve anteceder o uso da TIR, tanto na área médica quanto no esporte.

Também merece destaque o fato de que, no esporte, a partir de um perfil termográfico dos atletas, que já é utilizado como parâmetro de base para acompanhamento do treinamento, modificações da TIR_{pele} não identificadas como sobrecarga do treinamento podem indicar uma recuperação insuficiente devido a um tempo de sono ausente ou reduzido.

Além disso, devido à sensibilidade de detecção na modificação da TIR_{pele} em indivíduos privados de sono, seu uso também parece ser indicado para o acompanhamento de medidas de higiene do sono através de uma linha base de perfil termográfico.

Por ser pioneiro no uso da TIR_{pele} em condição de privação de sono, alguns avanços com novas pesquisas nessa condição podem ser realizados. São alguns exemplos, a participação de populações diferentes da utilizada no estudo, o delineamento com grupo controle em situações de monitoramento de carga de treinamento e diferentes tipos de lesões e a comparação da simetria contralateral após a realização de exercício físico.

Também parece ser interessante o monitorando do sono em tempo real utilizando uma câmera termográfica com possíveis identificações de RCI que possam sinalizar distúrbios do sono.

8 CONCLUSÃO

Em todos os momentos analisados, não ocorreu diferença significativa na TIR_{pele} entre os dimídios esquerdo e direito, também não ocorreu diferença contralateral ($\Delta^{\circ}C$) maior que $0,5^{\circ}C$, portanto a privação de sono de 36 horas não modifica a simetria bilateral da TIR_{pele} .

Contudo, quando comparado o segundo dia após a noite de privação de sono e o primeiro dia basal, foi observado um aumento da TIR_{pele} principalmente na face posterior do corpo, nas RCI do antebraço, do braço, das escápulas. Nos membros inferiores coxas e pernas, ambas as faces anterior e posterior apresentaram um aumento da TIR_{pele} .

A privação de sono ainda parece modificar o comportamento do GDP, que apresentou um aumento após 33 horas de privação de sono, às 17 h do segundo dia, ao invés de uma queda, como ocorreu no primeiro dia. Isso parece representar uma interrupção da resposta vasodilatadora periférica, o que também pode ser observado ao analisar o aumento da T_{retal} nesse mesmo momento, aparentemente uma situação de conservação de calor e um arrastamento da fase do ritmo circadiano.

Considerando que os resultados demonstram que a privação do sono interfere na TIR_{pele} , se considera fundamental o controle dos parâmetros do sono como variáveis intervenientes da TIR_{pele} . É sugerido que esse controle seja feito previamente às avaliações da TIR_{pele} nas áreas da medicina e do esporte.

REFERÊNCIAS

ADAMCZYK, J. G.; BOGUSZEWSKI, D.; SIEWIERSKI, M. Thermographic evaluation of lactate level in capillary blood during post-exercise recovery. **Kinesiology**, v. 46, n. 2, p. 186-193, Nov. 2014.

AHLEM, A. *et al.* Infrared Thermography in Sports Activity. **InTech**, p. 141-68, 2012.

AL-NAKHLI, H. H. *et al.* The use of thermal infra-red imaging to detect delayed onset muscle soreness. **J Vis Exp**, n. 59, Jan. 2012.

ALBERT, S. M.; GLICKMAN, M.; KALLISH, M. Thermography in Orthopedics. **Ann N Y Acad Sci**, v. 121, p. 157-70, Oct. 1964.

ANCOLI-ISRAEL, S. *et al.* The role of actigraphy in the study of sleep and circadian rhythms. **Sleep**, v. 26, n. 3, p. 342-92, May. 2003.

ANCOLI-ISRAEL, S. *et al.* The SBSM Guide to Actigraphy Monitoring: Clinical and Research Applications. **Behav Sleep Med**, v. 13 Suppl 1, p. 4-38, Jul. 2015.

AOKI, K. *et al.* Modification of cutaneous vasodilator response to heat stress by daytime exogenous melatonin administration. **Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol**, v. 291, n. 3, p. 619-24, Sep. 2006.

AOKI, K. *et al.* Exogenous melatonin administration modifies cutaneous vasoconstrictor response to whole body skin cooling in humans. **J Pineal Res**, v. 44, n. 2, p. 141-8, Mar. 2008.

ARENDRT, J. Shift work: coping with the biological clock. **Occup Med (Lond)**, v. 60, n. 1, p. 10-20, Jan. 2010.

ASCHOFF, J. Circadian Control of Body-Temperature. **J Therm Biol**, v. 8, n. 1-2, p. 143-147, Jan. 1983.

BACH, A. J. *et al.* A comparison between conductive and infrared devices for measuring mean skin temperature at rest, during exercise in the heat, and recovery. **PLoS One**, v. 10, n. 2, p. e0117907, Feb. 2015.

BARNES, R. B. Thermography of the human body. **Science**, v. 140, n. 3569, p. 870-7, May. 1963.

BERTOLAZI, A. N. *et al.* Validation of the Brazilian Portuguese version of the Pittsburgh Sleep Quality Index. **Sleep Med**, v. 12, n. 1, p. 70-75, Jan. 2011.

BESEDOVSKY, L.; LANGE, T.; BORN, J. Sleep and immune function. **Pflugers Arch**, v. 463, n. 1, p. 121-37, Jan. 2012.

BONNET, M. H.; ARAND, D. L. Clinical effects of sleep fragmentation versus sleep deprivation. **Sleep Med Rev**, v. 7, n. 4, p. 297-310, Aug. 2003.

BOONSTRA, T. W. *et al.* Effects of sleep deprivation on neural functioning: an integrative review. **Cell Mol Life Sci**, v. 64, n. 7-8, p. 934-46, Apr. 2007.

BORBELY, A. A.; ACHERMANN, P. Concepts and models of sleep regulation: an overview. **J Sleep Res**, v. 1, n. 2, p. 63-79, Jun. 1992.

_____. Sleep homeostasis and models of sleep regulation. **J Biol Rhythms**, v. 14, n. 6, p. 557-68, Dec. 1999.

BORBELY, A. A. *et al.* Sleep initiation and initial sleep intensity: interactions of homeostatic and circadian mechanisms. **J Biol Rhythms**, v. 4, n. 2, p. 149-60, Summer. 1989.

BORG, G. A. Psychophysical bases of perceived exertion. **Med Sci Sports Exerc**, v. 14, n. 5, p. 377-381, 1982.

BRIOSCHI, M. L. *et al.* O uso da termografia infravermelha na avaliação do retorno ao trabalho em programa de reabilitação ampliado (PRA). **Acta Fisiátrica**, v. 16, p. 87-92, Jan. 2009.

BUYSSE, D. J. *et al.* The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. **Psychiatry Res**, v. 28, n. 2, p. 193-213, May. 1989.

CAJOCHEN, C. *et al.* High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. **J Clin Endocrinol Metab**, v. 90, n. 3, p. 1311-6, Mar. 2005.

CAMPBELL, I. Body temperature and its regulation. **Anaesth Intensive Care**, v. 12, n. 6, p. 240-4, Jun. 2011.

CHUDECKA, M. *et al.* The Use of Thermal Imaging in the Evaluation of the Symmetry of Muscle Activity in Various Types of Exercises (Symmetrical and Asymmetrical). **J Hum Kinet**, v. 49, p. 141-7, Dec. 2015.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates, 1988.

COLLINS, A. J.; COSH, J. A. Temperature and biochemical studies of joint inflammation. A preliminary investigation. **Ann Rheum Dis**, v. 29, n. 4, p. 386-92, Jul. 1970.

CORTE, A. C. *et al.* Infrared thermography study as a complementary method of screening and prevention of muscle injuries: pilot study. **BMJ Open Sport Exerc Med**, v. 5, n. 1, p. e000431, Jan. 2019.

CORTES-GALLEGOS, V. *et al.* Sleep deprivation reduces circulating androgens in healthy men. **Arch Androl**, v. 10, n. 1, p. 33-7, Mar. 1983.

COSTA, C. M. A. *et al.* Daily rhythm of skin temperature of women evaluated by infrared thermal imaging. **J Therm Biol**, v. 72, p. 1-9, Feb. 2018.

COSTA, C. M. A. *et al.* Daily oscillations of skin temperature in military personnel using thermography. **J R Army Med Corps**, Sep. 2015.

COSTELLO, J. T. *et al.* Muscle, skin and core temperature after -110 degrees c cold air and 8 degrees c water treatment. **PLoS One**, v. 7, n. 11, p. e48190, Nov. 2012.

COTE, K. A. *et al.* Sleep deprivation lowers reactive aggression and testosterone in men. **Biol Psychol**, v. 92, n. 2, p. 249-56, Feb. 2013.

DAAN, S.; BEERSMA, D. G.; BORBELY, A. A. Timing of human sleep: recovery process gated by a circadian pacemaker. **Am J Physiol**, v. 246, n. 2 Pt 2, p. 161-83, Feb. 1984.

DATTILO, M. *et al.* Effects of Sleep Deprivation on Acute Skeletal Muscle Recovery after Exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 52, n. 2, p. 507-514, Feb. 2020.

DAVIES, S. K. *et al.* Effect of sleep deprivation on the human metabolome. **Proc Natl Acad Sci U S A**, v. 111, n. 29, p. 10761-6, Jul. 2014.

DAVIS, G. R. *et al.* Prolonged sleep deprivation and continuous exercise: effects on melatonin, tympanic temperature, and cognitive function. **Biomed Res Int**, v. 2014, p. 781863, Jul. 2014.

DE PAUW, K. *et al.* Guidelines to classify subject groups in sport-science research. **Int J Sports Physiol Perform**, v. 8, n. 2, p. 111-22, Mar. 2013.

DE SOUZA, J. F. T. *et al.* High-Intensity Interval Training Attenuates Insulin Resistance Induced by Sleep Deprivation in Healthy Males. **Front Physiol**, v. 8, p. 992, Dec. 2017.

DRUMMOND, S. P. A. *et al.* Increased sleepiness after total sleep deprivation leads to increased activation of the prefrontal cortex as measured with fMRI during a cognitive task. **Sleep**, v. 22, n. Suppl 1, p. 326, 1999.

DRZAZGA, Z. *et al.* A preliminary study on infrared thermal imaging of cross-country skiers and swimmers subjected to endurance exercise. **J Therm Anal Calorim**, v. 134, n. 1, p. 701-710, May. 2018.

DUBOCOVICH, M. L.; MARKOWSKA, M. Functional MT1 and MT2 melatonin receptors in mammals. **Endocrine**, v. 27, n. 2, p. 101-10, Jul. 2005.

DUFFY, J. F. *et al.* Healthy older adults better tolerate sleep deprivation than young adults. **J Am Geriatr Soc**, v. 57, n. 7, p. 1245-51, Jul. 2009.

EDWARDS, B. *et al.* A comparison of the suitabilities of rectal, gut, and insulated axilla temperatures for measurement of the circadian rhythm of core temperature in field studies. **Chronobiol Int.**, v. 19, n. 3, p. 579-97, May. 2002.

FELDMAN, F.; NICKOLOFF, E. L. Normal thermographic standards for the cervical spine and upper extremities. **Skeletal Radiol**, v. 12, n. 4, p. 235-49, Nov. 1984.

FERNANDES, A. A. *et al.* Measuring skin temperature before, during and after exercise: a comparison of thermocouples and infrared thermography. **Physiol Meas**, v. 35, n. 2, p. 189-203, Feb. 2014.

FERNÁNDEZ-CUEVAS, I. *et al.* Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review. **Infrared Phys Technol**, v. 71, n. 0, p. 28-55, Jul. 2015.

FORMENTI, D. *et al.* Is the maximum value in the region of interest a reliable indicator of skin temperature? **Infrared Phys Technol**, v. 94, p. 299-304, Nov. 2018.

FOURNET, D. *et al.* Body mapping of thermoregulatory and perceptual responses of males and females running in the cold. **J Therm Biol**, v. 38, n. 6, p. 339-344, Aug. 2013.

FREEMAN, H.; LINDER, F. E.; NICKERSON, R. F. The bilateral symmetry of skin temperature: one figure. **J Nutr**, v. 13, n. 1, p. 39-49, Jan. 1937.

FREY, D. J.; BADIA, P.; WRIGHT, K. P., JR. Inter- and intra-individual variability in performance near the circadian nadir during sleep deprivation. **J Sleep Res**, v. 13, n. 4, p. 305-15, Dec. 2004.

FUJITA, M. *et al.* Seasonal effects of sleep deprivation on thermoregulatory responses in a hot environment. **J Physiol Anthropol Appl Human Sci**, v. 22, n. 6, p. 273-8, Nov. 2003.

FULLAGAR, H. H. *et al.* Sleep and athletic performance: the effects of sleep loss on exercise performance, and physiological and cognitive responses to exercise. **Sports Med**, v. 45, n. 2, p. 161-86, Feb. 2015.

GARAGIOLA, U.; GIANI, E. Use of telethermography in the management of sports injuries. **Sports Med**, v. 10, n. 4, p. 267-72, Oct. 1990.

GATT, A. *et al.* Thermographic patterns of the upper and lower limbs: baseline data. **Int J Vasc Med**, v. 2015, p. 831369, Jan. 2015.

GERRETT, N. *et al.* Thermal sensitivity to warmth during rest and exercise: a sex comparison. **Eur J Appl Physiol**, v. 114, n. 7, p. 1451-62, Apr. 2014.

GIRARD, O. *et al.* Separate and combined effects of local and systemic hypoxia in resistance exercise. **Eur J Appl Physiol**, v. 119, n. 10, p. 2313-2325, Oct. 2019.

GOEL, N. *et al.* Circadian rhythms, sleep deprivation, and human performance. **Prog Mol Biol Transl Sci**, v. 119, p. 155-90, 2013.

GONZALEZ-SANTOS, M. R. *et al.* Sleep deprivation and adaptive hormonal responses of healthy men. **Arch Androl**, v. 22, n. 3, p. 203-7, 1989.

GREEN, J. Neurothermography. **Semin Neurol**, v. 7, n. 4, p. 313-6, Dec. 1987.

GRIBBLE, P. A.; HERTEL, J. Effect of lower-extremity muscle fatigue on postural control. **Arch Phys Med Rehabil**, v. 85, n. 4, p. 589-92, Apr. 2004.

GRIBBLE, P. A. *et al.* The Effects of Fatigue and Chronic Ankle Instability on Dynamic Postural Control. **J Athl Train**, v. 39, n. 4, p. 321-329, Dec. 2004.

HADZIC, V. *et al.* Can infrared thermography be used to monitor fatigue during exercise? A case study. **J Sport Health Sci**, v. 8, n. 1, p. 89-92, Jan. 2019.

HARDING, E. C.; FRANKS, N. P.; WISDEN, W. The Temperature Dependence of Sleep. **Front Neurosci**, v. 13, p. 336, Apr. 2019.

HERRY, C. L.; FRIZE, M. Quantitative assessment of pain-related thermal dysfunction through clinical digital infrared thermal imaging. **Biomed Eng Online**, v. 3, n. 1, p. 19, Jun. 2004.

HILDEBRANDT, C.; RASCHNER, C.; AMMER, K. An Overview of Recent Application of Medical Infrared Thermography in Sports Medicine in Austria. **Sensors**, v. 10, n. 5, p. 4700-4715, May. 2010.

HILDEBRANDT, C. *et al.* The Application of Medical Infrared Thermography in Sports Medicine. *In: Zaslav, KR , ed. An International Perspective on Topics in Sports Medicine and Sports Injury. InTech*;, p. 257-274, 2012.

HILLEN, B. *et al.* Infrared Thermography in Exercise Physiology: The Dawning of Exercise Radiomics. **Sports Med**, v. 50, n. 2, p. 263-282, Feb. 2020.

HUNOLD, S.; MIETZSCH, E.; WERNER, J. Thermographic studies on patterns of skin temperature after exercise. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 65, n. 6, p. 550-4, Nov. 1992.

IRWIN, M. R.; OLMSTEAD, R.; CARROLL, J. E. Sleep Disturbance, Sleep Duration, and Inflammation: A Systematic Review and Meta-Analysis of Cohort Studies and Experimental Sleep Deprivation. **Biol Psychiatry**, v. 80, n. 1, p. 40-52, Jul. 2016.

JACKSON, A. S.; POLLOCK, M. L. Generalized equations for predicting body density of men. **Br J Nutr**, v. 40, n. 3, p. 497-504, Nov. 1978.

JONES, B. F. A reappraisal of the use of infrared thermal image analysis in medicine. **IEEE Trans Med Imaging**, v. 17, n. 6, p. 1019-27, Dec. 1998.

KARHULA, K. *et al.* Job strain, sleep and alertness in shift working health care professionals -- a field study. **Ind Health**, v. 51, n. 4, p. 406-16, Nov. 2013.

KELLETT, J. Acute soft tissue injuries--a review of the literature. **Med Sci Sports Exerc**, v. 18, n. 5, p. 489-500, Oct. 1986.

KENNEY, W. L.; JOHNSON, J. M. Control of skin blood flow during exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 24, n. 3, p. 303-12, Mar. 1992.

KOLKA, M. A.; STEPHENSON, L. A. Exercise thermoregulation after prolonged wakefulness. **Journal of Applied Physiology**, v. 64, n. 4, p. 1575-1579, Nov. 1988.

KRAUCHI, K. *et al.* Warm feet promote the rapid onset of sleep. **Nature**, v. 401, n. 6748, p. 36-7, Sep. 1999.

_____. Functional link between distal vasodilation and sleep-onset latency? **Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol**, v. 278, n. 3, p. 741-8, Mar. 2000.

KRAUCHI, K. *et al.* Challenging the sleep homeostat does not influence the thermoregulatory system in men: evidence from a nap vs. sleep-deprivation study. **Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol**, v. 290, n. 4, p. 1052-61, Apr. 2006.

KRAUCHI, K.; WIRZ-JUSTICE, A. Circadian rhythm of heat production, heart rate, and skin and core temperature under unmasking conditions in men. **Am J Physiol**, v. 267, n. 3 Pt 2, p. 819-29, Sep. 1994.

LAHIRI, B. B. *et al.* Medical applications of infrared thermography: A review. **Infrared Phys Technol**, v. 55, n. 4, p. 221-235, Jul. 2012.

LEEDER, J. *et al.* Sleep duration and quality in elite athletes measured using wristwatch actigraphy. **J Sports Sci**, v. 30, n. 6, p. 541-5, Feb. 2012.

LEONARD, C. *et al.* The effect of fatigue, sleep deprivation and onerous working hours on the physical and mental wellbeing of pre-registration house officers. **Ir J Med Sci**, v. 167, n. 1, p. 22-5, Jan-Mar. 1998.

LEPROULT, R. *et al.* Sleep loss results in an elevation of cortisol levels the next evening. **Sleep**, v. 20, n. 10, p. 865-70, Oct. 1997.

LEPROULT, R.; VAN CAUTER, E. Effect of 1 week of sleep restriction on testosterone levels in young healthy men. **JAMA**, v. 305, n. 21, p. 2173-4, Jun. 2011.

LU, J. *et al.* Contrasting effects of ibotenate lesions of the paraventricular nucleus and subparaventricular zone on sleep-wake cycle and temperature regulation. **J Neurosci**, v. 21, n. 13, p. 4864-74, Jul. 2001.

MACHADO-MOREIRA, C. A. *et al.* Sweat secretion from palmar and dorsal surfaces of the hands during passive and active heating. **Aviat Space Environ Med**, v. 79, n. 11, p. 1034-40, Nov. 2008.

MARFELL-JONES, M. *et al.* **International standards for anthropometric assessment (ISAK)**. Australia: 2006.

MARINS, J. C. B. *et al.* Thermographic profile of soccer players' lower limbs. **Rev Andal Med Deporte**, v. 7, n. 1, p. 1-6, Jul. 2014a.

MARINS, J. C. B. *et al.* Applications of Infrared Thermography in sports. A review. **Int J Med Sci Phys Educ Sport**, in press, v. 15, n. 60, p. 805-824, Dec. 2015a.

MARINS, J. C. B. *et al.* Circadian and gender differences in skin temperature in militaries by thermography. **Infrared Phys Technol**, v. 71, p. 322-328, 2015b.

MARINS, J. C. B. *et al.* Time required to stabilize thermographic images at rest. **Infrared Phys Technol**, v. 65, n. 0, p. 30-35, Jul. 2014b.

MATSUI, M. S. *et al.* Biological Rhythms in the Skin. **Int J Mol Sci**, v. 17, n. 6, May. 2016.

MORALES-CERVANTES, A. *et al.* An automated method for the evaluation of breast cancer using infrared thermography. **EXCLI J**, v. 17, p. 989-998, Oct. 2018.

MOREIRA, D. G. *et al.* Thermographic imaging in sports and exercise medicine: A Delphi study and consensus statement on the measurement of human skin temperature. **J Therm Biol**, v. 69, p. 155-162, Oct. 2017.

MUGINSHTEIN-SIMKOVITCH, E. *et al.* Heat tolerance after total and partial acute sleep deprivation. **Chronobiol Int**, v. 32, n. 5, p. 717-24, Jun. 2015.

NAKAJIMA, Y. *et al.* Upright posture reduces thermogenesis and augments core hypothermia. **Anesth Analg**, v. 94, n. 6, p. 1646-51, Jun. 2002.

NARCISO, F. V. *et al.* Effects of Shift Work on the Postural and Psychomotor Performance of Night Workers. **PLoS One**, v. 11, n. 4, p. e0151609, Apr. 2016.

NARCISO, F. V.; MELLO, M. T. D. Safety and health of professional drivers who drive on Brazilian highways. **Rev Saúde Públ**, v. 51, Mar. 2017.

NATALE, V.; PLAZZI, G.; MARTONI, M. Actigraphy in the assessment of insomnia: a quantitative approach. **Sleep**, v. 32, n. 6, p. 767-71, Jun. 2009.

NATIONAL, S. F. **Sleep in America Poll**: summary of findings. Washington (DC): 1-70 p. 2009.

NG, E. Y.; CHEN, Y.; UNG, L. N. Computerized breast thermography: study of image segmentation and temperature cyclic variations. **J Med Eng Technol**, v. 25, n. 1, p. 12-6, Jan-Feb. 2001.

NIU, H. H. *et al.* Thermal symmetry of skin temperature: normative data of normal subjects in Taiwan. **Chin Med J (Taipei)**, v. 64, n. 8, p. 459-68, Aug. 2001.

NORTON, K.; NORTON, L.; SADGROVE, D. Position statement on physical activity and exercise intensity terminology. **J Sci Med Sport**, v. 13, n. 5, p. 496-502, Sep. 2010.

OLIVER, S. J. *et al.* One night of sleep deprivation decreases treadmill endurance performance. **Eur J Appl Physiol**, v. 107, n. 2, p. 155-61, Sep. 2009.

OPSTAD, P. K.; BAHR, R. Reduced set-point temperature in young men after prolonged strenuous exercise combined with sleep and energy deficiency. **Arctic Med Res**, v. 50 Suppl 6, p. 122-6, 1991.

PALMA, B. D. *et al.* Repercussões imunológicas dos distúrbios do sono: o eixo hipotálamo-pituitária-adrenal como fator modulador Immune outcomes of sleep disorders: the hypothalamic-pituitary-adrenal axis as a modulatory factor. **Rev Bras Psiquiatr**, v. 29, n. Supl I, p. S33-8, 2007.

PEIGNEUX, P. *et al.* Sleeping brain, learning brain. The role of sleep for memory systems. **Neuroreport**, v. 12, n. 18, p. 111-24, Dec. 2001.

PHAM, Q.-C. *et al.* Robust evaluation of time since awakening using force platform posturography. **Rev Bras Eng Bioméd** v. 30, p. 322-329, 2014.

PICHOT, C. Aplicación de la termografía en el dolor lumbar crónico. **Rev de la Soc Espanola del Dolor**, v. 8, n. 2, p. 43-47, Abr. 2001.

PIRES, M. L. *et al.* Sleep habits and complaints of adults in the city of Sao Paulo, Brazil, in 1987 and 1995. **Braz J Med Biol Res**, v. 40, n. 11, p. 1505-15, Nov. 2007.

PRIEGO QUESADA, J. I. *et al.* Relationship between skin temperature and muscle activation during incremental cycle exercise. **J Therm Biol**, v. 48, p. 28-35, Feb. 2015.

PROCTOR, K. G.; STOJANOV, I.; BEALER, S. L. Activation of brain adenosine receptors evokes vasodilation in skin arterioles. **Am J Physiol**, v. 261, n. 2 Pt 2, p. 457-62, Aug. 1991.

RECHTSCHAFFEN, A.; BERGMANN, B. M. Sleep deprivation in the rat by the disk-over-water method. **Behav Brain Res**, v. 69, n. 1-2, p. 55-63, Jul-Aug. 1995.

REFINETTI, R.; MENAKER, M. The circadian rhythm of body temperature. **Physiol Behav**, v. 51, n. 3, p. 613-37, Mar. 1992.

REID, K. J.; ABBOTT, S. M. Jet Lag and Shift Work Disorder. **Sleep Med Clin**, v. 10, n. 4, p. 523-35, Dec. 2015.

REYNOLDS, A. C. *et al.* Impact of five nights of sleep restriction on glucose metabolism, leptin and testosterone in young adult men. **PLoS One**, v. 7, n. 7, p. e41218, Jul. 2012.

RING, E.; AMMER, A. The Technique of infra red imaging in medicine. **Thermol Int**, v. 10, n. 1, p. 7-14, 2000.

RING, E. F. Quantitative thermal imaging. **Clin Phys Physiol Meas**, v. 11 Suppl A, p. 87-95, 1990.

_____. The historical development of thermometry and thermal imaging in medicine. **J Med Eng Technol**, v. 30, n. 4, p. 192-8, Jul-Aug. 2006.

RING, E. F. J.; AMMER, K. Infrared thermal imaging in medicine. **Physiol Meas**, v. 33, n. 3, p. 33-46, Feb. 2012.

ROBINSON, L. J. *et al.* Brown adipose tissue activation as measured by infrared thermography by mild anticipatory psychological stress in lean healthy females. **Exp Physiol**, v. 101, n. 4, p. 549-57, Apr. 2016.

RODRIGUES, D. F. *et al.* Profiles of mood states, depression, sleep quality, sleepiness, and anxiety of the Paralympic athletics team: A longitudinal study. **Apunts. Medicina de l'Esport**, v. 52, n. 195, p. 93-101, Jul. 2017.

ROMEIJN, N. *et al.* Cold hands, warm feet: sleep deprivation disrupts thermoregulation and its association with vigilance. **Sleep**, v. 35, n. 12, p. 1673-83, Dec. 2012.

RUBINSTEIN, E. H.; SESSLER, D. I. Skin-surface temperature gradients correlate with fingertip blood flow in humans. **Anesthesiology**, v. 73, n. 3, p. 541-5, Sep. 1990.

SADEH, A. The role and validity of actigraphy in sleep medicine: an update. **Sleep Med Rev**, v. 15, n. 4, p. 259-67, Aug. 2011.

SAMUELS, C. Sleep, recovery, and performance: the new frontier in high-performance athletics. **Neurol Clin**, v. 26, n. 1, p. 169-80; ix-x, Feb. 2008.

SANTOS-SILVA, R. *et al.* Increasing trends of sleep complaints in the city of Sao Paulo, Brazil. **Sleep Med**, v. 11, n. 6, p. 520-4, Jun. 2010.

SARGENT, C.; HALSON, S.; ROACH, G. D. Sleep or swim? Early-morning training severely restricts the amount of sleep obtained by elite swimmers. **Eur J Sport Sci**, v. 14 Suppl 1, p. S310-5, 2014.

SAUVET, F. *et al.* Beneficial effects of exercise training on cognitive performances during total sleep deprivation in healthy subjects. **Sleep Med**, v. 65, p. 26-35, Jan. 2020.

SAUVET, F. *et al.* Effects of 29-h total sleep deprivation on local cold tolerance in humans. **Eur J Appl Physiol**, v. 112, n. 9, p. 3239-50, Sep. 2012.

SAVOUREY, G.; BITTEL, J. Cold thermoregulatory changes induced by sleep deprivation in men. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 69, n. 3, p. 216-20, May. 1994.

SAWKA, M. N.; GONZALEZ, R. R.; PANDOLF, K. B. Effects of sleep deprivation on thermoregulation during exercise. **Am J Physiol**, v. 246, n. 1 Pt 2, p. 72-7, Jan. 1984.

SELFE, J. *et al.* An accurate and reliable method of thermal data analysis in thermal imaging of the anterior knee for use in cryotherapy research. **Arch Phys Med Rehabil**, v. 87, n. 12, p. 1630-5, Dec. 2006.

SELFE, J.; WHITAKER, J.; HARDAKER, N. A narrative literature review identifying the minimum clinically important difference for skin temperature asymmetry at the knee. **Thermol Int**, v. 18, p. 51-54, Mar. 2008.

SHAO, Y. *et al.* Decreased thalamocortical functional connectivity after 36 hours of total sleep deprivation: evidence from resting state fMRI. **PLoS One**, v. 8, n. 10, p. e78830, Oct. 2013.

SILBERSTEIN, E. B.; BAHR, G. K.; KATTAN, J. Thermographically measured normal skin temperature asymmetry in the human male. **Cancer**, v. 36, n. 4, p. 1506-10, Oct. 1975.

SIRI, W. E. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. 1961. **Nutrition**, v. 9, n. 5, p. 480-91, Sep-Oct. 1993.

SIVANANDAM, S. *et al.* Medical thermography: a diagnostic approach for type 2 diabetes based on non-contact infrared thermal imaging. **Endocrine**, v. 42, n. 2, p. 343-51, Oct. 2012.

SMOLANDER, J. *et al.* Circadian variation in peripheral blood flow in relation to core temperature at rest. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 67, n. 2, p. 192-6, Aug. 1993.

SOUISSI, N. *et al.* Effects of one night's sleep deprivation on anaerobic performance the following day. **Eur J Appl Physiol**, v. 89, n. 3-4, p. 359-66, May. 2003.

SPIEGEL, K.; LEPROULT, R.; VAN CAUTER, E. Impact of sleep debt on metabolic and endocrine function. **Lancet**, v. 354, n. 9188, p. 1435-9, Oct 23. 1999.

STEWART, I. B. *et al.* Thermal Infrared Imaging Can Differentiate Skin Temperature Changes Associated With Intense Single Leg Exercise, But Not With Delayed Onset of Muscle Soreness. **J Sports Sci Med**, v. 19, n. 3, p. 469-477, Sep. 2020.

TE LINDERT, B. H. W.; VAN SOMEREN, E. J. W. Skin temperature, sleep, and vigilance. **Handb Clin Neurol**, v. 156, p. 353-365, 2018.

THOMAS, M. *et al.* Neural basis of alertness and cognitive performance impairments during sleepiness. I. Effects of 24 h of sleep deprivation on waking human regional brain activity. **J Sleep Res**, v. 9, n. 4, p. 335-52, Dec. 2000.

TIKUISIS, P.; DUCHARME, M. B. The effect of postural changes on body temperatures and heat balance. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 72, n. 5-6, p. 451-9, Mar. 1996.

UEMATSU, S. Thermographic imaging of cutaneous sensory segment in patients with peripheral nerve injury. Skin-temperature stability between sides of the body. **J Neurosurg**, v. 62, n. 5, p. 716-20, May. 1985.

UMADEVI, V.; RAGHAVAN, S. V.; JAIPURKAR, S. Framework for estimating tumour parameters using thermal imaging. **Indian J Med Res**, v. 134, n. 5, p. 725-31, Nov. 2011.

URATA, Y. *et al.* Melatonin induces gamma-glutamylcysteine synthetase mediated by activator protein-1 in human vascular endothelial cells. **Free Radic Biol Med**, v. 27, n. 7-8, p. 838-47, Oct. 1999.

URRY, E.; LANDOLT, H. P. Adenosine, caffeine, and performance: from cognitive neuroscience of sleep to sleep pharmacogenetics. **Curr Top Behav Neurosci**, v. 25, p. 331-66, 2015.

VAINER, B. G. FPA-based infrared thermography as applied to the study of cutaneous perspiration and stimulated vascular response in humans. **Phys Med Biol**, v. 50, n. 23, p. 63-94, Dec. 2005.

VALLIERES, A.; MORIN, C. M. Actigraphy in the assessment of insomnia. **Sleep**, v. 26, n. 7, p. 902-6, Nov. 2003.

VAN CAUTER, E. *et al.* Impact of sleep and sleep loss on neuroendocrine and metabolic function. **Horm Res**, v. 67 Suppl 1, p. 2-9, 2007.

VAN DE WERKEN, M. *et al.* Effects of artificial dawn on sleep inertia, skin temperature, and the awakening cortisol response. **J Sleep Res**, v. 19, n. 3, p. 425-35, Sep. 2010.

VARDASCA, R. Symmetry of temperature distribution in the upper and lower extremities. **Thermol Int**, v. 18, n. 4, p. 154-155, 2008.

VARDASCA, R. *et al.* Thermal symmetry of the upper and lower extremities in healthy subjects. **Thermol Int**, v. 22, p. 53-60, 2012.

VASSALLI, A.; DIJK, D. J. Sleep function: current questions and new approaches. **Eur J Neurosci**, v. 29, n. 9, p. 1830-41, May. 2009.

VIEGAS, F. *et al.* The use of thermography and its control variables: a systematic review. **Rev Bras Med Esporte**, v. 26, p. 82-86, Jan-Fev. 2020.

VITALE, K. C. *et al.* Sleep Hygiene for Optimizing Recovery in Athletes: Review and Recommendations. **Int J Sports Med**, v. 40, n. 8, p. 535-543, Aug. 2019.

VUILLERME, N.; SPORBERT, C.; PINSULT, N. Postural adaptation to unilateral hip muscle fatigue during human bipedal standing. **Gait Posture**, v. 30, n. 1, p. 122-5, Jul. 2009.

WATERHOUSE, J. *et al.* The circadian rhythm of core temperature: origin and some implications for exercise performance. **Chronobiol Int**, v. 22, n. 2, p. 207-25, Feb. 2005.

WATERHOUSE, J. *et al.* Identifying some determinants of "jet lag" and its symptoms: a study of athletes and other travellers. **Br J Sports Med**, v. 36, n. 1, p. 54-60, Feb. 2002.

WEINERT, D.; WATERHOUSE, J. The circadian rhythm of core temperature: effects of physical activity and aging. **Physiol Behav**, v. 90, n. 2-3, p. 246-56, Feb. 2007.

WEINGARTEN, J. A.; COLLOP, N. A. Air travel: effects of sleep deprivation and jet lag. **Chest**, v. 144, n. 4, p. 1394-1401, Oct. 2013.

XU, H. *et al.* Impact of 36h of total sleep deprivation on resting-state dynamic functional connectivity. **Brain Res**, v. 1688, p. 22-32, Jun 1. 2018.

YOSIPOVITCH, G. *et al.* Time-dependent variations of the skin barrier function in humans: transepidermal water loss, stratum corneum hydration, skin surface pH, and skin temperature. **J Invest Dermatol**, v. 110, n. 1, p. 20-3, Jan. 1998.

YOUNG, A. J. *et al.* Exertional fatigue, sleep loss, and negative energy balance increase susceptibility to hypothermia. **J Appl Physiol (1985)**, v. 85, n. 4, p. 1210-7, Oct. 1998.

ZAPROUDINA, N. *et al.* Reproducibility of infrared thermography measurements in healthy individuals. **Physiol Meas**, v. 29, n. 4, p. 515-24, Apr. 2008.

ZHAO, T. *et al.* Melatonin mediates vasodilation through both direct and indirect activation of BKCa channels. **J Mol Endocrinol**, v. 59, n. 3, p. 219-233, Oct. 2017.

ZHOU, F. *et al.* Regional cerebral hypoperfusion after acute sleep deprivation: A STROBE-compliant study of arterial spin labeling fMRI. **Medicine (Baltimore)**, v. 98, n. 2, p. e14008, Jan. 2019.

ZISAPEL, N. Sleep and sleep disturbances: biological basis and clinical implications. **Cell Mol Life Sci**, v. 64, n. 10, p. 1174-86, May. 2007.

ANEXOS

ANEXO 1

PARECER COMITÊ DE ÉTICA E PESQUISA (COEP)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - COEP

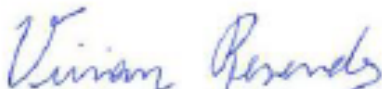
Projeto: CAAE – 60083616.0.0000.5149

Interessado(a): Prof. Marco Túlio de Mello
Departamento de Esportes
EEFFTO- UFMG

DECISÃO

O Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG – COEP aprovou, no dia 08 de novembro de 2016, o projeto de pesquisa intitulado "efeito da privação do sono sobre o comportamento das temperaturas central, periférica e muscular e a regulação do estado de alerta e do desempenho psicomotor" bem como o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

O relatório final ou parcial deverá ser encaminhado ao COEP um ano após o início do projeto através da Plataforma Brasil.


Prof. Dra. Vivian Resende
Coordenadora do COEP-UFMG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



PARECER DO COLEGIADO

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: EFEITO DA PRIVAÇÃO DO SONO SOBRE O COMPORTAMENTO DAS TEMPERATURAS CENTRAL, PERIFÉRICA E MUSCULAR E A REGULAÇÃO DO ESTADO DE ALERTA E DO DESEMPENHO PSICOMOTOR

Pesquisador: Marco Túlio de Mello

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 60083616.0.0000.5149

Instituição Proponente: Escola de Educação Física da Universidade Federal de Minas Gerais

Patrocinador Principal: Universidade Federal de Minas Gerais

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.810.015

Situação do

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

BELO HORIZONTE, 08 de Novembro de 2016

Assinado por:
Vivian Resende
(Coordenador)

ANEXO 2

Termo de consentimento livre e esclarecido

Você está convidado a participar do estudo: **“Efeito da privação do sono no comportamento das temperaturas central, periférica e muscular e a regulação do estado de alerta e do desempenho psicomotor”**. Os avanços na área da saúde ocorrem por meio de estudos como este, por isso a sua participação é muito importante. O objetivo deste estudo é verificar os efeitos da privação do sono sobre o comportamento da temperatura corporal, dos níveis hormonais e do desempenho psicomotor.

Caso você participe, o estudo ocorrerá em duas fases, nas quais você será submetido à privação de sono durante 36 horas, sendo assim ficará acordado por 36 horas sob supervisão de um dos pesquisadores responsáveis.

Na primeira fase, será necessário que você realize quatro visitas ao laboratório: 1) a primeira visita será para preenchimento da ficha de identificação, recebimento de instruções sobre a utilização do actígrafo para analisar o estado de atividade-reposo (ciclo vigília-sono), preenchimento do diário de sono, preenchimento dos questionários de nível de atividade física habitual de Baecke para verificar o nível de atividade física, do questionário de matutuidade e vespertinidade para verificar o cronotipo (preferência circadiana individual) e realização do exame de polissonografia (PSG), esse será realizado durante uma noite normal de sono; 2) a segunda visita será realizada (oitavo dia) para exames antropométricos (massa corporal, estatura, dobras cutâneas), avaliação da temperatura corporal e realização de um teste de potência aeróbia (ergoespirometria); 3) a terceira visita será o período de privação de sono, a qual iniciará às 8 horas da manhã e terminará às 20 horas da noite do dia seguinte com subsequente realização de um teste de potência aeróbia (ergoespirometria). Na noite posterior à privação do sono, será realizada a avaliação do sono (polissonografia), ou seja, você permanecerá no laboratório por 48 horas; 4) a quarta visita ocorrerá 15 dias após a visita inicial e será apenas para a retirada do actígrafo.

Na segunda fase, será necessário que você realize três visitas ao laboratório: 1) a primeira visita será para colocar o actígrafo; 2) a segunda será o período de privação de sono, a qual iniciará às 8 horas da manhã e terminará às 20 horas da noite do dia seguinte com subsequente realização de um teste de potência aeróbia (ergoespirometria). Na noite posterior à privação do sono, será realizada a avaliação do sono (polissonografia), ou seja, você permanecerá no laboratório por 48 horas. Nessa fase, você poderá participar de um grupo que irá realizar duas sessões de exercício físico (20h e 08h) na esteira por 30 minutos, ou de um outro grupo que será submetido a duas sessões de exercício de vibração de corpo inteiro (20h e 08h) em posição de semiagachamento, 3) a terceira visita ocorrerá 15 dias após a primeira visita da fase dois e será apenas para a retirada do actígrafo.

Tanto na fase um quanto na fase dois, durante o período de 36 horas de privação de sono e na noite seguinte, ou seja, durante 48 horas, você deverá permanecer no laboratório de pesquisa para evitar interferências de fatores externos, como temperatura, umidade, atividade física, alimentação e hidratação. Durante todo esse período, você ficará sob supervisão de, no mínimo, um dos pesquisadores responsáveis. Durante a permanência, nos intervalos de avaliações, será permitido assistir TV, realizar pesquisas na internet, jogar jogos, tocar instrumento musical e estudar, não sendo permitida a realização de atividades físicas de intensidade moderada a intensa.

O intervalo entre as fases será de no mínimo 30 dias e no máximo de 60 dias. Em cada fase, o início do período de privação de sono irá ocorrer às 8h da manhã e terminará às 20h da noite do dia seguinte. Durante esse período de 36 horas que ocorrerão na fase 1 e na fase 2 do estudo, você responderá, a cada 3 horas, os questionários POMS, BRUMS para avaliar o estado de humor, o Índice de Qualidade de Sono de Pittsburgh para verificar a qualidade do sono, a escala de sonolência de Karolinska para avaliar a sonolência. Além dos questionários, também a cada 3 horas durante a privação de sono, os seguintes testes serão realizados: controle postural através de uma plataforma de força, o de atenção e vigilância através do teste de dígitos e o *Psychomotor Vigilance Task* (PVT), teste para verificação da consolidação da aprendizagem e eletroencefalografia (EEG), bem como a coleta de saliva para mensuração do cortisol, melatonina e testosterona. A aferição da temperatura central será por meio de uma sonda retal e de uma cápsula gastrointestinal, a da temperatura periférica e muscular por meio de um sensor de pele (termopar), elas também serão

realizadas a cada 03 horas. Todos esses procedimentos deverão ser realizados em 50 minutos.

Para avaliação da temperatura central, serão utilizados materiais descartáveis (sonda retal e cápsula), o que elimina o risco de contaminações. A cápsula deverá ser ingerida na noite anterior ao início da fase de privação de sono e não apresenta desconforto durante o período de mensuração da temperatura gastrointestinal. A sonda retal será inserida somente durante o período de privação de sono e, em caso de desconforto, poderá ser removida nos intervalos entre as mensurações de temperatura retal. Para avaliação do controle postural, você ficará na posição de pé com os olhos abertos e fechados sobre uma superfície rígida não móvel por 5 minutos, olhando um ponto fixo à altura dos seus olhos. Para a realização do PVT e do teste de dígitos a fim de avaliar a atenção e a vigilância, e para responder às escalas e aos questionários, você poderá permanecer sentado em uma sala silenciosa e tranquila. Durante a ergoespirometria, você deverá correr sobre uma esteira com velocidade inicial de 5km/h durante 03 minutos e aumento de 1km/h a cada minuto até você atingir a exaustão. Além disso, coletas de saliva serão realizadas durante a privação de sono e nos momentos pré e pós-exercício físico. O actígrafo ficará no seu punho não dominante por no máximo 15 dias na fase 1 e 15 dias na fase 2.

O período de privação de sono, tanto na fase 1 quanto na fase 2, não acarretará potenciais riscos à sua saúde, no entanto você poderá apresentar sonolência excessiva, e, para evitar quedas, você será monitorado a todo momento por um pesquisador responsável. Na fase 2, durante a realização do exercício físico, você será monitorado, e o pesquisador responsável poderá interromper o estudo caso você não apresente condições físicas para continuar o exercício físico. Para sua segurança e para avaliação do sono após o período de privação de sono, você será conduzido pelo pesquisador a uma sala preparada para você dormir e realizar o exame de polissonografia. No dia seguinte, após ser avaliado ao acordar, você estará liberado e retornará ao laboratório somente para a retirada do actígrafo.

Todas as avaliações serão realizadas nos laboratórios do Centro de Excelência Esportiva da Universidade Federal de Minas Gerais (CENESP), localizado na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional no campus da UFMG, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 Campus Pampulha, Belo Horizonte, MG.

Você poderá não participar da pesquisa ou retirar seu consentimento a qualquer momento, sem precisar assumir qualquer tipo de ônus, indenização ou ressarcimento e sem prejuízo algum no seu atendimento. Pela sua participação no estudo, você não receberá qualquer valor em dinheiro, mas terá a garantia de que todas as despesas necessárias para a realização da pesquisa não serão de sua responsabilidade. O seu nome aparecerá somente na ficha de cadastro, e, nas demais situações, você será identificado por uma sigla. O conjunto dos resultados obtidos poderá ser divulgado em eventos científicos, em revistas ou outros meios de divulgação, mas o seu nome será sempre mantido em sigilo constante. Você poderá ter acesso aos resultados e às conclusões do estudo, bastando, para isso, entrar em contato com os pesquisadores e agendar um horário para que possa receber informações globais constantes do relatório final da pesquisa. Durante o estudo, você poderá ter todas as informações que quiser. Para isso, os pesquisadores estarão a sua disposição para orientar ou sanar possíveis dúvidas ao longo da sua participação na pesquisa.

Eu, _____
_____, acredito ter sido suficientemente informado a respeito das informações que li e/ou ouvi e compreendi os propósitos do presente estudo e todos os procedimentos a que serei submetido, além de ter sido esclarecido quanto aos riscos e aos benefícios do estudo. Eu entendi que sou livre para interromper minha participação a qualquer momento, sem justificar minha decisão e que isso não me afetará e nem me trará nenhuma penalidade ou prejuízo algum. Sei que meu nome não será divulgado, que não terei despesas e não receberei dinheiro para participar do estudo.

Eu concordo voluntariamente e autorizo a minha participação no estudo **“Efeito da privação do sono no comportamento das temperaturas central, periférica e muscular e a regulação do estado de alerta e do desempenho psicomotor”**, com as condições estabelecidas acima. Uma cópia deste consentimento ficará comigo, e a segunda cópia, assinada por mim, será arquivada pelos pesquisadores.

_____, ____ de _____ de 2016.

Voluntário

RG ou CPF

Pesquisador responsável

Outros esclarecimentos poderão ser obtidos com os *Pesquisadores responsáveis*: Prof. Dr. Marco Túlio de Mello (e-mail: tmello@demello.net.br); Dra. Fernanda V. Narciso (e-mail: fernandanarciso@hotmail.com e telefone: (31) 99286-3283).

Demais dúvidas referentes a questões éticas poderão ser obtidas no Comitê de Ética em Pesquisa (COEP), situado na Av. Antônio Carlos, 6627, Unidade Administrativa II, 2º andar/Sala 2005, Campus Pampulha, Belo Horizonte, MG. Email: coep@prpq.ufmg.br. Telefone: (31) 3409-4592.

ANEXO 3

Ficha de Identificação e Dados Biopsicossociais

I – Identificação

Nome: _____
 Sexo: () F () M Data de Nascimento: ____/____/_____
 Telefone Residencial: _____ Celular: _____
 Endereço residencial: _____
 Estado conjugal atual: () Solteiro(a) () Casado(a)/vive com companheiro(a) ()
 Separado(a)/Divorciado(a) () Viúvo (a).
 Você estuda? () não () sim. Estudo: _____
 Você estudou? () não () sim. Estudou até que
 ano? _____
 Qual é o seu horário de estudo? _____
 Você trabalha? () não () sim. Função/Cargo: _____. Profissão anterior:
 _____. Profissão atual: _____. Há quanto tempo você trabalha nesta
 profissão: _____
 Qual é o seu horário de trabalho? _____
 Incluindo você, quantas pessoas contribuem para a renda familiar: _____ pessoas.

II – Questões sobre sono e saúde

Você fuma? () não () sim, _____ cigarros/dia.
 Você ingere bebida alcoólica? () não () sim () as vezes () socialmente () diariamente
 Você ingeriu bebida alcoólica e/ou substância estimulante nas últimas 24 horas? () sim () não.
 Usa medicamentos ou alguma substância para dormir? () não () sim, qual(is)?
 _____.
 Usa medicamentos ou alguma substância para dormir ou para se manter acordado/alerta? () não () sim,
 qual(is)? _____
 _____.
 Você dorme sozinho (a) ou acompanhado (a): _____.
 Que horas você foi dormir ontem? _____.
 Que horas você acordou hoje? _____.
 Você sabe há quanto tempo você está acordado(a)? () não () sim, quanto tempo? _____.
 Você dormiu por quanto tempo esta noite? _____.
 Você dormiu bem esta noite? () sim () não, porque? _____.
 Você cochilou hoje? () não () sim, por quanto tempo? _____, quantas vezes?
 _____, a que horas? _____.
 Você sente sono durante o trabalho/estudo/atividades sociais? () não () sim, por que?
 _____.
 Você cochila no período de descanso no trabalho? () não () sim, () as vezes, quanto
 tempo? _____.
 Já se envolveu em algum acidente por dormir ou cochilar dirigindo? () não () sim, quando? _____
 _____, quantos? _____.
 Você se cansa com facilidade? () não () as vezes () sim, por que? _____.
 Você ronca? () não () as vezes () sim. Seu (a) companheiro (a) já te disse que você ronca? () não ()
 as vezes () sim.
 Você tem distúrbios do sono? () não () sim. Qual (is): () range os dentes () Chuta as pernas a noite
 () insônia () pesadelos ()
 outros _____.
 Você pratica exercício físico? () não () as vezes () sim, qual? _____, quantas
 vezes por semana? _____, por quanto tempo? _____ a que horas do dia? _____.

Sente dores de cabeça/ no corpo/ na coluna/ nas pernas/outras partes do corpo? () não () as vezes () sim,
onde? _____, qual frequência:

Sente vertigem/tonturas? () não () as vezes () sim () sempre

Sente tonturas/vertigens durante ou após a prática da atividade física: () sim () não.

Já fez alguma cirurgia? () não () sim, motivo: _____.

Já fraturou alguma parte do corpo? () não () sim, qual parte?

Usa prótese ou órtese? () sim () não. Onde? _____.

Tem perda da visão permanente: () sim () não.

Tem problemas de visão ou dificuldade para enxergar? () sim () não.

Usa óculos e/ou lente de contato: () sim () não.

ANEXO 4

Escala de qualidade de sono de Pittsburgh

Nome: _____

Data: ____/____/____

As questões seguintes referem-se aos seus hábitos de sono durante o mês passado. Suas respostas devem demonstrar, de forma mais precisa possível, o que aconteceu na maioria dos dias e das noites apenas desse mês. Por favor, responda a todas as questões.

1- Durante o mês passado, a que horas você foi habitualmente dormir? _____ h.

2- Durante o mês passado, quanto tempo (em minutos) habitualmente você levou para adormecer a cada noite? _____ min

3- Durante o mês passado, a que horas você habitualmente despertou? _____ h.

4- Durante o mês passado, quantas horas de sono realmente você teve à noite? (isto pode ser diferente do número de horas que você permaneceu na cama). Horas de sono por noite: _____

Para cada uma das questões abaixo, marque a melhor resposta. Por favor, responda a todas as questões.

5- Durante o mês passado, com que frequência você teve problemas de sono porque você...

	Nunca no mês passado	Menos de 1 vez por semana	1 ou 2 vezes por semana	3 ou mais vezes por semana
a- Não conseguia dormir em 30 minutos				
b- Despertou no meio da noite ou da madrugada				
c- Teve que levantar à noite para ir ao banheiro				
d- Não conseguia respirar de forma satisfatória				
e- Tossia ou roncava alto				
f- Sentia muito frio				
g- Sentia muito calor				
h- Tinha sonhos ruins				
i- Tinha dor				
j- Outra razão (por favor, descreva):				
k- Durante o mês passado, com que frequência você teve problemas com o sono por essa causa acima?				

6- Durante o mês passado, como você avaliaria a qualidade geral do seu sono?

() Muito Bom () Bom () Ruim () Muito Ruim

	Nunca no mês passado	Menos de 1 vez por semana	1 ou 2 vezes Por semana	3 ou mais vezes por semana
7- Durante o mês passado, com que frequência você tomou medicamento (prescrito ou por conta própria) para ajudar no sono?				
8- Durante o mês passado, com que frequência você teve dificuldades em permanecer acordado enquanto estava dirigindo, fazendo refeições, ou envolvido em atividades sociais?				

9- Durante o mês passado, quanto foi problemático para você manter-se suficientemente entusiasmada ao realizar suas atividades?				
---	--	--	--	--

10) - Você divide com alguém o mesmo quarto ou a mesma cama?

mora só divide o mesmo quarto, mas não a mesma cama divide a mesma cama

11- Se você divide com alguém o quarto ou a cama, pergunte a ele(a) com qual frequência durante o último mês você tem tido:				
	Nunca no mês passado	Menos de 1 vez por semana	1 ou 2 vezes por semana	3 ou mais vezes por semana
a- Ronco alto				
b- Longas pausas na respiração enquanto estava dormindo				
c- Movimentos de chutar ou sacudir as pernas enquanto estava dormindo				
d- Episódios de desorientação ou confusão durante a noite?				
e- Outras inquietações durante o sono (por favor, descreva):				

ANEXO 5**Escala de esforço de Borg**

- | | |
|----|----------------------|
| 6 | Sem nenhum esforço |
| 7 | |
| 8 | Extremamente leve |
| 9 | Muito leve |
| 10 | |
| 11 | Leve |
| 12 | |
| 13 | Um pouco intenso |
| 14 | |
| 15 | Intenso (pesado) |
| 16 | |
| 17 | Muito Intenso |
| 18 | |
| 19 | Extremamente intenso |
| 20 | Máximo esforço |

Escala RPE de Borg
© Gunnar Borg, 1970, 1985, 1994, 1998

ANEXO 6

