CONFORTO TÉRMICO DURANTE O SONO: BREVE REVISÃO DA LITERATURA

Sarah Brandeburski de Farias (1); Solange Maria Leder (2)
(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, sarah_farias@hotmail.com, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Campus I - Cidade Universitária - João Pessoa - PB – Brasil, CEP: 58051-900
(2) Doutorado em Engenharia Civil, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo UFPB, solangeleder@yahoo.com.br

RESUMO

O presente trabalho apresenta breve revisão de literatura sobre conforto térmico durante o sono, com enfoque nos modelos de conforto térmico e na temperatura neutra. A motivação da pesquisa se dá em função da escassez de informações disponíveis sobre o tema e, assim, esta pesquisa se propôs a investigar a produção científica detectada sobre o assunto a fim de identificar e analisar o que foi produzido sobre o conforto térmico noturno. Tal estudo é justificado pela importância do conforto térmico durante o sono e suas relevantes repercussões para a saúde. O método empregado foi de revisão de literatura, com busca inicial em base de dados na plataforma Compendex Engineering, além do uso da técnica de "bola de neve", que por fim abrangeu 25 artigos científicos, além de referências complementares que foram analisadas e discutidas. São apresentados seis modelos de conforto térmico para ambientes de dormir além de diferentes faixas de temperaturas de conforto que variam em função da roupa de cama e do clima. Apesar da ausência de um modelo reconhecido e universalmente aceito, percebeu-se haver processo de melhoria ao longo da trajetória de surgimento de modelos, bem como crescente interesse no tema em questão.

Palavras-chave: modelo de conforto térmico, qualidade do sono, revisão de literatura.

ABSTRACT

This paper presents a brief literature review on thermal comfort in sleeping environments, focusing on thermal comfort models and neutral temperature. This research is motivated by the limitation of available information about this subject. Thus, this research was conducted to investigate the identifiable scientific production about this subject to identify and analyze what was obtained about sleeping thermal comfort. This study is justified by the importance of the thermal comfort issue in sleeping environments and its relevant repercussions for health. It used a literature review as a method, with an initial search in the Compendex Engineering platform, in addition to the "snowball" technique, which finally covered 25 scientific articles and complementary references. Six thermal comfort models for sleeping environments are presented, and different neutral temperatures vary depending on the bedding system and climate. Despite the absence of a recognized and universally accepted model, it is noticed that there is an improvement process along of model's development, as well as a growing interest in this subject.

Keywords: thermal comfort model, sleep quality, literature review.

1. INTRODUÇÃO

As pessoas passam cerca de um terço do seu tempo de vida dormindo, e esta atividade desempenha grande importância para o equilíbrio da saúde. O crescimento econômico e populacional, a maior oferta de serviços com funcionamento contínuo (dia e noite), bem como maior competitividade no mercado de trabalho

pressionam a sociedade a produzir durante maiores períodos, e pode colaborar para a redução do período e a qualidade do sono (FERRARA; GENNARO, 2001).

A ausência de sono de qualidade pode desencadear problemas de saúde para um indivíduo, tais como: fadiga mental, má tomada de decisão, distúrbios metabólicos, depressão, disfunções imunológicas, maior incidência de doenças crônicas, além de redução da qualidade de vida e produtividade (BUENO; DE PAULA XAVIER; BRODAY, 2021; CARSKADON; DEMENT, 2005; CHELLAPPA; ARAUJO, 2007; OPP, 2009). Além da esfera individual, os distúrbios do sono podem afetar a segurança pública ao provocarem acidentes rodoviários e de trabalho (DINGES, 1995; FERRARA; GENNARO, 2001).

Estímulos psicológicos, fisiológicos e externos afetam a qualidade do sono. (TSANG; MUI; WONG, 2021). Os principais fatores que influenciam a qualidade do sono são: o estado de saúde, estado emocional e condições do "sistema de cama"[1] (LAN; LIAN, 2016). Os aspectos do ambiente interno mais frequentemente estudados são: térmico, lumínico, acústico e os relacionados à qualidade interna do ar (CAO *et al*., 2021; SEKHAR; GOH, 2011; ZHANG; CAO; ZHU, 2018). Contudo, o ambiente térmico é um dos que mais impacta o sono humano (LAN; LIAN; LIN, 2016).

De modo geral, as pesquisas sobre conforto térmico em ambientes de dormir e durante o sono desenvolvidas até o momento ainda são incipientes. Considerando que o conforto térmico está envolvido na esfera abstrata até mesmo em seu conceito, poder-se-ia pensar que o termo – 'conforto térmico' - não seria aplicável as pessoas dormindo, já que ao dormir a condição de inconsciência temporária seria incompatível com a percepção de satisfação (LIN; DENG, 2008a). Não obstante, esse termo (em inglês *sleeping thermal comfort*) tem sido recorrentemente empregado na literatura científica.

Sabendo-se da importância do sono de qualidade à saúde, o presente estudo se propõe a examinar as produções bibliográficas mais relevantes sobre o assunto a fim de apresentar uma Breve Revisão de Literatura sobre o conforto térmico noturno, expondo e relacionando temas que envolvam o conforto térmico durante o sono. As revisões de literatura são relevantes para construção do conhecimento embasado nas evidências de publicações científicas mais recentes de tema específico.

2. OBJETIVO

O presente artigo objetiva expor uma breve revisão de literatura sobre o conforto térmico durante o sono, incluindo aspectos sobre os modelos matemáticos propostos, bem como as faixas de temperatura de conforto para esse tipo de atividade, e identificar os métodos de pesquisa mais aplicados, além de investigar pesquisas sobre conforto térmico em ambientes de dormir em regiões de clima tropical quente e úmido.

3. MÉTODO

A seleção de trabalhos para esta revisão foi realizada a partir de pesquisa feita em novembro de 2022 na plataforma Compendex Engineering, base de dados que inclui publicações especializadas na área de engenharia. Foi utilizada estratégia de busca baseada em grupos de palavras inseridos nos campos de título, resumo e nas palavras-chave, vinculadas através do operador booleano 'OR', sendo aplicada da seguinte forma: TITLE-ABS-KEY("thermal comfort" OR "thermal sensation" OR thermosensation OR thermosensing OR "thermo sensing" OR Temperature OR Temperatures)) AND (TITLE-ABS-KEY("Sleep Quality" OR "Sleep Qualities")). A seleção de trabalhos incluiu apenas resultados dos artigos em inglês e não foi definida faixa temporal para a busca.

A primeira busca resultou em 1005 artigos, dos quais em primeiro processo de filtragem por meio de leitura de títulos, resumos e eliminação de trabalhos repetidos, e dos que não estavam relacionados a esse tema, resultou em 151 artigos de interesse. Em um segundo momento, foi realizada leitura refinada que deste último grupo selecionou 13 trabalhos para leitura. No intuito de complementar os resultados dos artigos dessa última etapa, foi utilizada a técnica de "bola de neve" (GROENING, SARKIS & ZHU, 2018), que visa identificar artigos relevantes a partir de cadeias de referência, ou seja, buscou-se localizar os trabalhos citados nos artigos mais relevantes. Desse modo, foram incluídos outros 12 trabalhos que perfizeram o total de 22 artigos utilizados nesta revisão de literatura. Após a leitura dos artigos, procedeu-se à análise crítica e discussão dos estudos selecionados.

[1] Este termo é proveniente da expressão em inglês *bedding system*. Entende-se por sistema uma parte limitada de algo maior que foi separada para efeito de análise (COUTINHO, 1998). No caso do "sistema de cama", entende-se como o conjunto de elementos que incluem: a vestimenta do indivíduo ao dormir, o colchão, a cama e as peças utilizadas para cobrir uma pessoa durante o sono, e que criam microambientes distintos do restante do local de dormir (LIN; DENG, 2008b).

Tabela 1: Artigos selecionados para revisão de literatura. As autoras.

Autor	Título	Ano
GAGGE, A.; STOLWIJK, J.; NISHI, Y.	An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response.	1971
CENA, K.; CLARK, J.	Physics, physiology and psychology.	1981
HASKELL, E.; PALCA, J.; WALKER, J.; BERGER, R.; HELLER, H.	The effects of high and low ambient temperatures on human sleep stages.	1981
MCCULLOUGH, E.; ZBIKOWSKI, P.; JONES, B.	Measurement and prediction of the insulation provided by bedding systems.	1987
LING; Z.; DENG, S.	A study on the thermal comfort in sleeping environments in the subtropics—developing a thermal comfort model for sleeping environments.	2008
LING; Z.; DENG, S.	A study on the thermal comfort in sleeping environments in the subtropics—Measuring the total insulation values for the bedding systems commonly used in the subtropics.	2008
DJONGYANG, N.; TCHINDA, R.; NJOMO, D.	Estimation of some comfort parameters for sleeping environments in dry-tropical sub-Saharan Africa region.	2012
PAN, D.; CHAN, M.; DENG, S.; QU, M.	A four-node thermoregulation model for predicting the thermal physiological responses of a sleeping person.	2012
DONGMEI, P.; DENG, S., LIN; Z., CHAN, M..	Air-conditioning for sleeping environments in tropics and/or subtropics – A review.	2013
LAN, L.; PAN, L.; LIAN, Z.; HUANG, H.; LIN, Y.	Experimental study on thermal comfort of sleeping people at different air temperatures.	2014
LIU, W.; LIAN, Z.; DENG, Q.	Use of mean skin temperature in evaluation of individual thermal comfort for a person in a sleeping posture under steady thermal environment.	2015
SONG, C.; LIU, Y.; LIU, J.; ZHOU, X..	Investigation of human thermal comfort in sleeping environments basedon the effects of bed climate.	2015
DU, J.; CHAN, M.; PAN, D.; DENG, S.	A numerical study on the effects of design/operating parameters of the radiant panel in a radiation-based task air conditioning system on indoor thermal comfort and energy saving for a sleeping environment.	2017
LAN, L.; ZHAI, Z. J.; LIAN, Z.	A two-part model for evaluation of thermal neutrality for sleeping people.	2018
SONG, C.; LIU, Y.; LIU, J.	The sleeping thermal comfort model based on local thermal requirements in winter.	2018
ZHANG, N., CAO, B., Y.X. ZHU.	Indoor environment and sleep quality: a research based on online survey and field study.	2018
NICOL, F.	Temperature and sleep.	2019
OMIDVAR, A.; KIM, J.	Modification of sweat evaporative heat loss in the PMV/PPD model to improve thermal comfort prediction in warm climates.	2020
SONG, C.; ZHAO, T.; SONG, Z.; LIU, Y..	Effects of phased sleeping thermal environment regulation on human thermal comfort and sleep quality.	2020
ZHANG, S.; LIN, Z.	Adaptive-rational thermal comfort model: Adaptive predicted mean vote with variable adaptive coefficient.	2020
TSANG, T. W.; MUI, K. W.; WONG, L. T.	Investigation of thermal comfort in sleeping environment and its association with sleep quality.	2021
ZHAO, Q.; LIAN, Z.; LAI, D	Thermal comfort models and their developments: A review.	2021
LAOUADI, A.	A New General Formulation for the PMV Thermal Comfort Index.	2022
ZHANG, Y.; XIAO, A.; ZHENG, T.; XIAO, H.; HUANG, R.	The Relationship between Sleeping Position and Sleep Quality: A Flexible Sensor-Based Study.	2022
LU, Y.; NIU, M.; SONG, W.; WANG, M.	Investigation on the total and local thermal insulation of the bedding system: Effects of filling materials, weights and body postures.	2021

4. RESULTADOS

De acordo com os resultados extraídos das bases de dados e seleção de 25 artigos, além de referências bibliográficas complementares, são tecidos comentários sobre as faixas de conforto térmico e modelos de conforto térmico durante o sono.

4.1. Conforto Térmico no Período Noturno e variáveis microclimáticas

Há o entendimento de que para que se proporcione o conforto térmico durante o sono é necessário atender a condição básica da neutralidade térmica. Esta condição é definida por Fanger (1972) como aquela na qual o sujeito não prefere que o ambiente esteja nem mais quente nem mais frio. Os pesquisadores Lamberts *et al*. (2011) afirmam que quando há neutralidade térmica, a temperatura corporal é constante e não há ganho nem perda excessiva de calor, apesar da liberação de calor pelo metabolismo e que, é possível que um indivíduo esteja em neutralidade térmica e em desconforto térmico ao mesmo tempo como quando há, por exemplo, um campo assimétrico de radiação.

Ao se conhecer a faixa de temperatura de conforto pode-se reduzir o consumo energético ao se evitar o excesso de aquecimento ou resfriamento artificial de um ambiente (NICOL, 2019). Em função das alterações circadianas inerentes ao corpo humano e ao contexto de microclima criado por um "sistema de cama", a faixa de temperatura de conforto varia durante os períodos de sono e de vigília, pois foi observado haver diferença entre a temperatura de conforto (temperatura do ar) para o dia de verão em condição de trabalho – que varia entre 24 a 26°C (LING; DENG, 2008a) – em relação ao contexto de período de sono, que ocorre em geral durante a noite, e, conforme dados da Tabela 2, varia de 20 a 22,2°C para situação que utiliza elementos do "sistema de cama" para cobrir-se, e entre 28 a 32°C em condição descoberta.

Com relação ao período noturno, os resultados de estudos apresentam variação da temperatura da neutralidade térmica. Estas podem se dar em razão de alguns trabalhos terem considerado os elementos de cobrir do "sistema de cama" e outros que não, além da aclimatação dos participantes e da variação do contexto de ventilação no qual o estudo foi desenvolvido, conforme consta na Tabela 2. (DONGMEI et al., 2013). Um estudo realizado em residência universitária naturalmente ventilada no Japão, que utilizou aplicação de questionários, medição de temperatura e umidade do ar e temperatura corporal, identificou como temperatura do ar em neutralidade térmica durante o sono o valor em torno de 22±3°C (MIYAZAWA, 1994 apud LIN; DENG, 2008a). Uma pesquisa norte americana realizada com homens (idade entre 18 a 30 anos) identificou 29°C como temperatura neutra em ambientes de dormir, com baixa velocidade do ar e com participantes trajando apenas bermuda (HASKELL *et al*., 1981). Na China, pesquisa realizada em dormitórios de residência universitária ventilada naturalmente apontou a temperatura do ar neutra em 23,05°C, em condição usual do sistema de roupa de cama e vestimenta de dormir (TSANG, MUI, WONG, 2021). No continente africano, uma pesquisa desenvolvida em clima seco apresentou como faixa de temperatura do ar considerada termoneutra a variação de 27°C a 30°C (DJONGYANG; TCHINDA; NJOMO, 2012). Observa-se na Tabela 2 que quando os voluntários da pesquisa utilizaram elementos de roupas de cama para cobrirem-se a temperatura de conforto térmico variou entre de 20 a 25°C, enquanto quando descobertos variou entre 29 a 32°C.

Tabela 2: Temperatura térmica neutra identificada em diferentes estudos (Adaptado a partir de DONGMEI *et al*., 2013).

Literatura	Temperatura da neutralidade térmica (°C)	Condição dos participantes	Variável observada	Ventilação
Macpherson, 1973	29 – 32	Descobertos	Temp. do ar	Artificial
Haskell *et al*., 1981	29	Descobertos	Temp. do ar	Artificial
Palca, 1986	29	Descobertos	Temp. do ar	Artificial
Karacan *et al*., 1978	22,2	Cobertos	Temp. do ar	Artificial
Sewitch *et al*., 1986	20 – 22	Cobertos	Temp. do ar	Artificial
Dewasmes *et al*., 2003	25	Cobertos	Temp. do ar	Artificial
Miyazawa, 2014	22±3	Cobertos	Temp. do ar	Natural
Tsang, Mui, Wong, 2021	23,05	Cobertos	Temp. do ar	Natural

Quanto a avaliação da neutralidade térmica em ambientes de dormir, os pesquisadores Lan, Zhai e Lian (2018) observaram a neutralidade térmica em ambientes de dormir considerando o corpo humano divido em duas partes (com e sem contato com a cama) e identificaram que a temperatura termoneutra é maior durante o

sono do que em relação ao período que precede o sono. O mesmo estudo afirma quanto ao balanço de calor durante o sono que, em função da vasodilatação e vasoconstrição do corpo humano nesse estado, a carga térmica oscila dentro de uma certa variação (LAN; ZHAI; LIAN, 2018). Observa-se que a temperatura neutra durante o sono varia em função de variáveis físicas e ambientais, em função do contexto climático bem como do sistema de roupa de cama, e de variáveis e preferências pessoais. É possível que a aclimatação também influencie tal temperatura, todavia, é necessária investigação adicional.

4.2. Modelos de Conforto Térmico Noturno

O conforto térmico é indispensável para o bem-estar de ocupantes de ambientes internos (ZHANG; LIN, 2020), e é um item significativo para o alcance da qualidade de vida, saúde além de economia de energia (NIZA, BRODAY, 2021). A ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers) (ASHRAE, 2010) afirma que quando o homem se encontra em situação de satisfação (psíquica e física) em relação ao ambiente, ele está em conforto térmico. Esse conceito é subjetivo e a definição das sensações de conforto pode ser complexa em função das respostas termoregulatórias do homem a seu ambiente térmico (CENA; CLARK, 1981). Para simplificar tais questões que incidem sobre o conforto, tem-se a proposição de índices de conforto térmico que combinam as múltiplas variáveis que o afetam (DUARTE e MONTEIRO, 2005).

A questão térmica é dos principais fatores de perturbação do sono e influência à boa qualidade do sono (HASKELL *et al*., 1981; LAN; LIAN; LIN, 2016). Embora a maioria dos estudos de conforto térmico desenvolvidos até o momento sejam concernentes ao período diurno, estes índices e parâmetros não são aplicáveis à atividade de sono em razão das diferenças de condições fisiológicas (nível de consciência, metabolismo, faixa de temperatura de neutralidade, postura, tipo de roupa). Portanto, tal avaliação em ambientes de dormir é mais complexa do que ambientes internos ou externos durante período diurno pois prescinde de parâmetros especificamente desenvolvidos para pessoas nessa condição (LAN; LIAN; LIN, 2016; ZHAO; LIAN; LAI, 2021).

Conquanto existam pesquisas relacionadas ao conforto térmico em ambientes de dormir desde a década de 1970 (ZHANG, CAO, ZHU, 2022), um dos primeiros modelos matemáticos de predição de conforto proposto para esse contexto surgiu nas duas últimas décadas (LIN; DENG, 2008a). Esse foi elaborado a partir da equação de balanço de calor desenvolvida por Fanger (1972) bem como do seu índice PMV (do inglês *Predicted Mean Vote*), utilizando-se equações de regressões lineares e considerando o clima subtropical. Desse modo, tem-se a proposta do modelo de PMV para o período da noite, a partir da modificação da equação de conforto com ajuste da taxa de metabolismo (40 W/m² ou 0,7 met) e da taxa de umidade da pele (0,06) (LIN; DENG, 2008a). Tal proposição, que foi a mais mencionada em trabalhos pesquisados nessa área, é apresentada a seguir na Equação 1:

$$PMV_{noturno} = 0{,}0998\ \{40 - \frac{1}{Rt}\ [(34{,}6 - \frac{4{,}7\ t_r + h_c.\ t_a}{4{,}7 + \underline{h_c}}) + 0{,}3762(5.52 - p_a)]\} - 0{,}0998[0{,}056(34 - t_a) + 0{,}692\ (5{,}87 - p_a)] \quad \text{Equação 1}$$

Onde:
R_t é a resistência total do sistema de cama [clo]
$\overline{t_r}$ é temperatura radiante média [°C]
h_c é coeficiente de calor convectivo na superfície [W/(m² K)]
t_a é a temperatura do ar [°C]
p_a é a pressão do vapor d'água no ar do ambiente [kPa]

O coeficiente de transferência de calor por convecção, h_c, para pessoas reclinadas pode ser calculado por (COLIN; HOUDAS, 1967):

$h_c = 2.7 + 8{,}7v^{0.67}$ quando a velocidade do ar for entre $0{,}15 < v < 1{,}5$ Equação 2

$h_c = 5{,}1$ quando a velocidade do ar for $0 < v \leq 0{,}15$. Equação 3

Desse modo, na equação proposta foram consideradas cinco variáveis de caráter pessoal (R_t – resistência do sistema de roupa de cama - que inclui a roupa de cama e de dormir -, e metabolismo), e outras de caráter temoambientais: temperatura radiante ($\overline{t_r}$), temperatura do ar (t_a), pressão de vapor de água no ar do ambiente (p_a) e velocidade do ar (v). De modo distinto ao modelo de PMV aplicado ao dia, a umidade relativa do ar não foi considerada no cálculo, mas a pressão do vapor da atmosfera é incluída.

A proposta apoia-se na premissa de que durante o sono o sujeito alcança a neutralidade térmica supondo-se atingir o estado estacionário, e tem sido aplicada e testada por alguns pesquisadores (DJONGYANG; TCHINDA; NJOMO, 2012; DU *et al*., 2017; LAN et al., 2014).

Todavia, a literatura científica aponta algumas experiências com resultados de PMV incompatíveis com os votos de sensação térmica real, e eventual imprecisão do modelo (LAN *et al*., 2014; TSANG, MUI, WONG, 2021). Tais imprecisões podem estar relacionadas ao tipo de sistema de resfriamento do ambiente, pois o modelo foi desenvolvido para ambientes artificialmente condicionados. Nesse mesmo intuito, outras investigações para desenvolvimento de modelos de predição de conforto térmico para período de sono derivados dos modelos aplicados a pessoas acordadas têm surgido neste campo de pesquisa de cientistas (LAOUADI, 2022; PAN *et al*., 2012; LIU; LIAN; DENG, 2015; ZHAO; LIAN; LAI, 2021).

Também com base na equação de balanço de calor, foram desenvolvidos outros modelos matemáticos para compreensão do conforto térmico como, por exemplo, os modelos de dois-nós e o modelo de vários-nós. No primeiro mencionado, o corpo humano é simplificado em duas camadas para efeito de cálculo – estrutura com pele e núcleo (core) – representada por cilindro concêntrico. O segundo segue a mesma lógica, todavia com mais subdivisões. Neles, cada segmento representa um nó de transferência de calor com características fisiológicas e térmicas (ZHAO; LIAN; LAI, 2021). Tendo sido desenvolvido para o contexto de conforto térmico diurno, esse raciocínio foi adaptado para o período noturno.

Assim sendo, foram identificados seis modelos de conforto térmico para ambientes de dormir, sendo cinco com base no modelo PMV e outro, denominado modelo de quatro-nós, que se apoia na teoria dos dois-nós, como ilustrado na Figura 1.

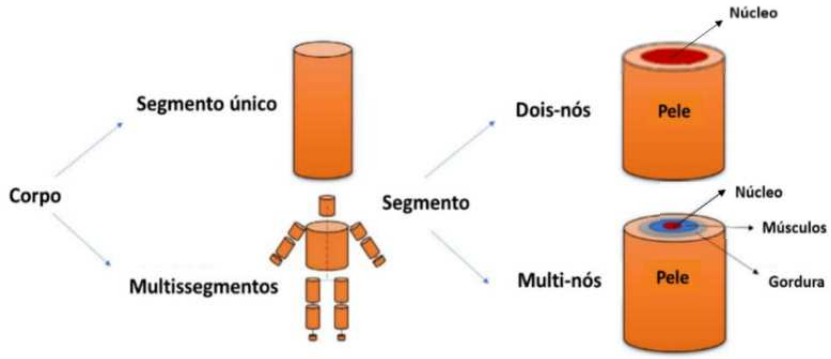

Figura 1 - Detalhes dos segmentos dos modelos de dois-nós e de vários-nós (Adaptado de ZHAO; LIAN; LAI, 2021).

Descrevendo-se brevemente esses modelos que constam na Figura 2, tem-se que o segundo modelo identificado apresenta um modelo de termorregulação de quatro-nós para prever respostas fisiológicas térmicas de uma pessoa adormecida, com base no modelo existente de dois-nós de Gagge, originalmente criado para pessoas acordadas (GAGGE; STOLWIJK; NISHI; 1971). A adaptação do modelo diurno de dois-nós para o de quatro-nós fez-se necessária em virtude da resistência térmica da roupa de cama além da pele humana e das características de uma pessoa dormindo, e apresenta como resultado do modelo as temperaturas da pele e a temperatura interna do corpo, ao invés de utilizar os votos de sensação e conforto térmicos (PAN *et al*., 2012). Entretanto, o parâmetro da temperatura de pele de uma determinada área pode ser impreciso quanto ao conforto térmico do corpo humano como um todo (ZHAO; LIAN; LAI, 2021).

A média de temperatura da pele também é utilizada pelo terceiro modelo como indicador fisiológico para conforto térmico, sendo consideradas dez partes diferentes do corpo com diferentes pesos para esse cálculo. A diferença nas temperaturas médias da pele entre conforto e desconforto mostrou-se estatisticamente significativa, conquanto existem diferenças individuais que podem interferir na interpretação desse dado (LIU; LIAN; DENG, 2015).

Parâmetros fisiológicos também são adotados pelo quarto modelo de conforto noturno levantado. Este utiliza a temperatura média da pele em neutralidade térmica, considera o corpo humano em duas partes (a que fica em contato com a cama e a que não tem contato), e o seu resultado prevê a temperatura ideal de um ambiente de dormir (LAN; ZHAI; LIAN, 2018).

Os autores do quinto modelo identificado observaram que as sensações de conforto podem ser diferentes em partes distintas do corpo e desenvolveram este modelo baseados em requisitos do período de inverno. O modelo de percentual insatisfeito (modelo PTS-WPD de Sensação Térmica Parcial-Percentual Totalmente Insatisfeito) foi construído ao considerarem a sensação térmica local para cabeça e corpo inteiro durante o sono, integradas em índice para avaliação do ambiente térmico (SONG *et al*., 2018).

O sexto modelo encontrado na literatura foi desenvolvido no Canadá e investigou a adaptação do modelo de Fanger pela perspectiva do metabolismo o que faz com que, além de ambientes de dormir, este modelo também possa ser aplicado a pessoas idosas, cujo metabolismo também é mais baixo que o de pessoas adultas com menos de sessenta anos em atividade diurna (LAOUADI, 2022). A investigação proposta baseia-se em divergências encontradas entre o modelo de conforto mais utilizado, o de Ling e Deng (2008a), em confronto com dados de medições, pois estas indicam fragilidades nas equações da temperatura média da pele e da perda de calor por evaporação da pele (LAOUADI, 2022; OMIDVAR; KIM, 2020). O autor deste último modelo, o pesquisador Laouadi (2022), explica que as limitações do PMV noturno de Ling e Deng (2008a) podem ser categorizadas em duas ordens: uma de cunho teórico e a segunda no âmbito experimental. Quanto a esta última, trata-se das limitações à aplicação do modelo, pois o alcance do isolamento térmico da roupa é restrito (0 a 2 clo), assim como os parâmetros ambientais (temperatura ambiente entre 10 a 30°C; temperatura radiante entre 10 a 40°C; vapor de pressão do ar entre 0 a 2700 Pa; velocidade do ar entre 0 a 1 m/s).

Sobre a teoria, aponta o fato de que o modelo de PMV noturno em referência é impreciso quando as taxas metabólicas alteram significativamente em relação à taxa necessária para situações de conforto. Somado a isso, a temperatura média da pele e da perda de calor por evaporação dependem da taxa metabólica, pois em condições ambientais de conforto detectou-se correlação linear entre essas variáveis, e a carga de calor corporal não inclui o calor gerado pela taxa metabólica sob condições de exposição ao frio, resultando, portanto, em sobre/subestimação do nível de conforto. Dessa maneira, o sexto modelo, ao basear-se na atividade metabólica, expressa-se pela diferença da taxa metabólica da pessoa em atividade e da taxa metabólica necessária para alcance da condição de conforto.

Foi identificado na literatura que, apesar de no estado de sono o indivíduo encontrar-se inconsciente, algumas estratégias adaptativas podem ser consideradas válidas, e, além das mudanças fisiológicas que agem no próprio organismo, algumas delas são tomadas ainda que inconscientemente - como a mudança de posição ao dormir e da taxa de cobrimento por elementos da roupa de cama -, e outras de modo consciente, como a composição do tecido dos elementos de cobrir-se, ou ainda o uso de ventilador e ar-condicionado (ZHANG *et al*., 2022).

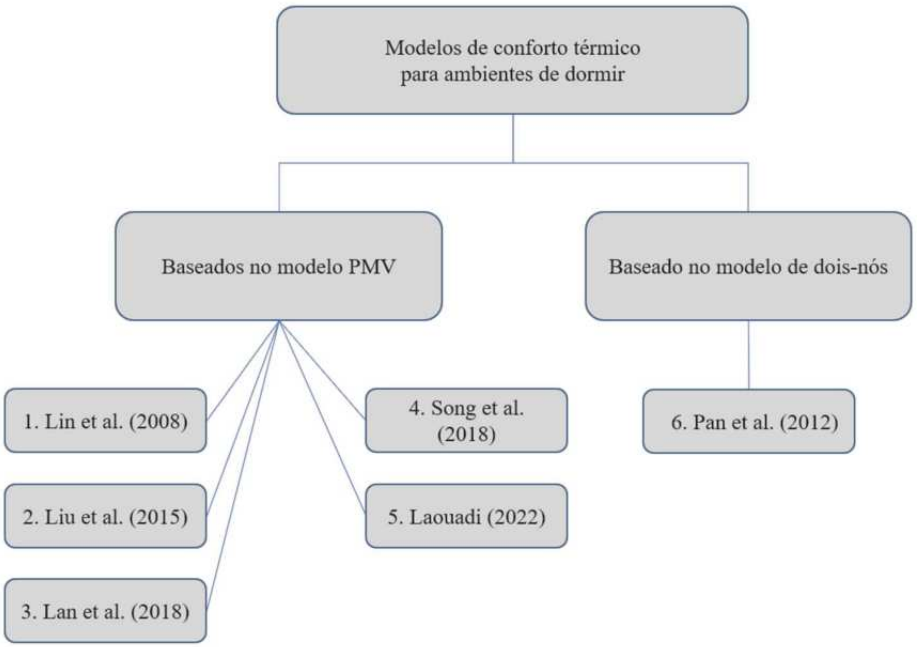

Figura 2 - Diagrama esquemático do desenvolvimento de modelos de conforto térmico para pessoas adormecidas ao longo das duas últimas décadas (Adaptado de ZHAO; LIAN; LAI, 2021).

4.3 Sistema de Cama

Com vistas à qualidade do sono, os votos da sensação térmica relativos à cama (colchão, roupa de cama, cobertor etc.) foram considerados mais importantes do que a sensação térmica em relação ao dormitório (ambiente), o que indica que o "microclima da cama" representa papel expressivo no conforto térmico durante o sono (SONG et al., 2020). Comumente a roupa de cama é usada como estratégia de adaptação a temperaturas, porquanto o contato entre o corpo e os elementos componentes do "sistema de cama" formam microclima que pode favorecer a indução do sono através ativação da vasodilatação periférica e de outros mecanismos, em especial em climas frios (NICOL, 2019; SONG et al., 2015; SONG et al., 2020). Deste modo, o "sistema de

cama" influencia diretamente a temperatura de neutralidade térmica ao proporcionar isolamento térmico em relação ao ambiente de dormir, uma vez que diminui a passagem de calor de um microambiente para outro, e afeta a temperatura da pele e taxa de transpiração (DONGMEI et al., 2013; LAOUADI, 2022).

Os principais aspectos elencados como influenciadores do microclima da cama são a quantidade de elementos de cobrir (roupa de cama) que compõem o "sistema de cama"; as propriedades dos elementos de cobrir (peso do material por m²); o percentual da superfície do corpo coberta – inclui a área em contato com o colchão (Figura 3) ; o isolamento térmico total do sistema utilizado para dormir, estando ainda incluído o tipo de colchão (MCCULLOUGH; ŻBIKOWSKI; JONES, 1987; LIN; DENG, 2008b; LU et al., 2021; PAN; LIN; DENG, 2010; ZHANG; CAO; ZHU, 2022).

Para o cálculo do valor total desse sistema, ainda não se dispõe de base de dados para consulta com valores de isolamento térmico dos elementos do "sistema de cama" – especificamente da roupa de cama. Contudo, existem pesquisas desenvolvidas com manequins térmicos que investigaram alguns contextos e materiais específicos, a exemplo do estudo de McCullough, Zbikowski e Jones (1987) que identificou que o isolamento térmico do "sistema de cama" está relacionado ao percentual da superfície corporal por ele coberta, sendo que quando a pessoa se encontra na posição supina – quando o sujeito se encontra deitado de costas sobre o colchão, voltado para cima – e descoberta (vide Figura 3A) esse
percentual é de 23,3%, embora esse percentual possa variar em função da
densidade do colchão e em função da massa corpórea do indivíduo. Foi identificado, ainda, que baixos percentuais de cobertura do corpo exercem pouca influência sobre o valor total do isolamento oferecido pelo "sistema de cama" (MCCULLOUGH; ZBIKOWSKI; JONES, 1987).

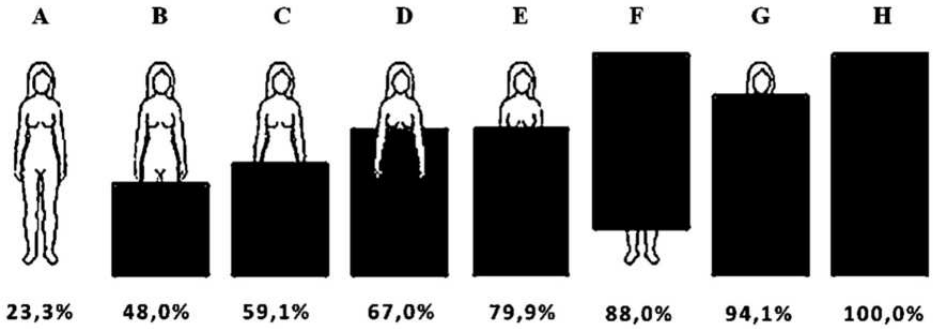

Figura 3 – Percentual de cobertura da superfície do corpo pelos elementos de cama e contato com o colchão. (MCCULLOUGH, ZBIKOWSKI; JONES, 1987).

O surgimento dos primeiros dados disponíveis sobre a resistência da roupa de cama disponibilizados pelas pesquisas com manequins térmicos ofereceu dados limitados, e até recentemente não era possível realizar o cálculo do "sistema de cama" com elementos de cobrir distintos dos utilizados em experimentos em contextos diversificados em relações à publicações. Contudo, os pesquisadores Zhang, Cao e Zhu (2022) trouxeram importante contribuição ao proporem método simplificado e efetivo para determinação do isolamento térmico do "sistema de cama" por meio de dados sobre a o peso por unidade de área do elemento de cobrir e do percentual de cobertura do corpo.

Além dos aspectos relacionados ao cobrimento e elementos do "sistema de cama", recentes estudos têm investigado o efeito da postura ao dormir, sendo detectado que a postura encurvada apresentou isolamento térmico significativamente maior (LU et al., 2021).

Observa-se haver avanços em relação ao desenvolvimento da compreensão do "sistema de cama" e seu microclima com vistas ao conforto térmico durante o sono, entretanto, estudos adicionais ainda são necessários a fim de compreender as relações da postura ao dormir com relação a demais variáveis de influência à qualidade do sono.

5. CONCLUSÕES

Ao propor-se a investigar o que a literatura científica produziu sobre o conforto térmico em ambientes de dormir, o presente trabalho identificou e apresenta conceitos e comentários sobre as principais produções acerca desse tema.

Ao observar-se o conjunto de propostas de modelos matemáticos para predição do conforto térmico noturno, percebe-se que estes estão continuamente em desenvolvimento e processo de melhoria, e que nem todos os testes de validação obtiveram bons resultados. As principais vertentes que fundamentam as proposições são baseadas no modelo PMV desenvolvido por Fanger (1972) para período diurno bem como o

modelo de dois-nós desenvolvido por Gagge (GAGGE; STOLWIJK; NISHI; 1971). Não foi identificado um modelo específico que seja universalmente aceito ou reconhecido pela comunidade científica como o mais adequado.

Os resultados indicam que em razão das diferenças fisiológicas, de atividade e de vestimenta, há diferença entre a temperatura neutra em estado de vigília e de sono. Quanto a este último tipo, observa-se haver variação entre as faixas de neutralidade em função do clima e situação específica do sistema de cama para o contexto de ambiente de dormir. Não foi encontrada pesquisa que investigasse o modelo adaptativo durante o período de dormir, sendo todos os índices encontrados classificados como sendo pertencentes ao modelo racional ou do tipo estacionário.

Os métodos de pesquisa mais recorrentes quanto aos modelos matemáticos são de natureza teórica, embora existam pesquisas de campo com aplicação de questionários e medições de variáveis matemáticas, bem como comparação entre os índices preditos e os resultados dos questionários, que investigaram a validade das proposições. Observou-se ainda mais recentemente haver aumento da quantidade de pesquisas sobre o tema, o que pode indicar aumento do interesse nessa área específica de conhecimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE. **ANSI/ASHRAE Standard 55-2010**. Thermal Environment Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2004.

BUENO, A. M.; DE PAULA XAVIER, A. A.; BRODAY, Evandro Eduardo. Evaluating the connection between thermal comfort and productivity in buildings: A systematic literature review. **Buildings**, v. 11, n. 6, p. 244, 2021.

CAO, T.; LIAN, Z.; MA, S.; BAO, J. Thermal comfort and sleep quality under temperature, relative humidity and illuminance in sleep environment. **Journal of Building Engineering**, v. 43, p. 102575, 2021.

CARSKADON, M. A; DEMENT, W. C. Normal human sleep: an overview. **Principles and practice of sleep medicine**, v. 4, n. 1, p. 13-23, 2005.

CENA, K.; CLARK, J. A. Physics, physiology and psychology. **Studies in Environmental Science**, v. 10, n. C, p. 271–283, 1981.

CHELLAPPA, S. L.; ARAUJO, J. F. Qualidade subjetiva do sono em pacientes com transtorno depressivo. **Estudos de Psicologia,** Natal, v. 12, p. 269-274, 2007.

COLIN, Jean; HOUDAS, Yvon. Experimental determination of coefficient of heat exchanges by convection of human body**. Journal of Applied Physiology**, v. 22, n. 1, p. 31-38, 1967.

DINGES, D. F. An overview of sleepiness and accidents. Journal of sleep research, v. 4, p. 4-14, 1995.

DJONGYANG, N.; TCHINDA, R.; NJOMO, D. Estimation of some comfort parameters for sleeping environments in dry-tropical sub-Saharan Africa region. **Energy conversion and management**, v. 58, p. 110-119, 2012.

DONGMEI, Pan*;* DENG, Shiming, LIN; Zhongping, CHAN, Ming-yin. Air-conditioning for sleeping environments in tropics and/or subtropics – A review. **Energy**, v. 51, p. 18-26, 2013.

DU, J.; CHAN, M.; PAN, D.; DENG, S. A numerical study on the effects of design/operating parameters of the radiant panel in a radiation-based task air conditioning system on indoor thermal comfort and energy saving for a sleeping environment. **Energy and Buildings**, v. 151, p. 250-262, 2017.

DUARTE, D. H. S.; MONTEIRO, L. M. **Conforto térmico**. p. 23, 2005. Diponível em: www.fau.usp.br/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0276/Aulas/Aut0276_- _Aula_02_Conforto_Termico.pdf

FANGER, P.O. **Thermal comfort**. McGraw-Hill, New York, 1972.

GAGGE A.P., STOLWIJK J., NISHI Y. An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response. **ASHRAE Transactions** 1971;77(1):247e62.

GROENING, C.; SARKIS, J.; ZHU, Q. Green marketing consumer-level theory review: A compendium of applied theories and further research directions. **Journal of cleaner production**, v. 172, p. 1848-1866, 2018.

HASKELL, E.; PALCA, J.; WALKER, J.; BERGER, R.; HELLER, H. The effects of high and low ambient temperatures on human sleep stages. **Electroencephalography and clinical neurophysiology**, v. 51, n. 5, p. 494-501, 1981.

NIZA, I. L.; BRODAY, E. E. Modelos de Conforto Térmico: uma breve revisão de literatura nos últimos 10 anos. **XI Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção.** Paraná, 2021.

LAN, L.; PAN, L.; LIAN, Z.; HUANG, H.; LIN, Y. Experimental study on thermal comfort of sleeping people at different air temperatures. **Building and Environment**, v. 73, p. 24-31, 2014.

LAN, L.; LIAN, Z.W. Ten questions concerning thermal environment and sleep quality. **Building and Environment**, v. 99, p. 252–259, 2016.

LAN, L.; LIAN, Z. W.; LIN, Y. B. Comfortably cool bedroom environment during the initial phase of the sleeping period delays the onset of sleep in summer. **Building and Environment**, v. 103, p. 36-43, 2016.

LAN, L.; ZHAI, Z. J.; LIAN, Z. A two-part model for evaluation of thermal neutrality for sleeping people. **Building and Environment**, v. 132, p. 319-326, 2018.

LAOUADI, A. A New General Formulation for the PMV Thermal Comfort Index. **Buildings**, v. 12, n. 10, p. 1572, 2022.

LIN, Z.; DENG, S. A study on the thermal comfort in sleeping environments in the subtropics—developing a thermal comfort model for sleeping environments. **Building and Environment**, v. 43, n. 1, p. 70-81, 2008a.

LIN, Z.; DENG, S. A study on the thermal comfort in sleeping environments in the subtropics—Measuring the total insulation values for the bedding systems commonly used in the subtropics. **Building and Environment**, v. 43, n. 5, p. 905-916, 2008b.

LIU, W.; LIAN, Z.; DENG, Q. Use of mean skin temperature in evaluation of individual thermal comfort for a person in a sleeping posture under steady thermal environment. **Indoor and Built Environment**, v. 24, n. 4, p. 489-499, 2015.

MCCULLOUGH, E. A.; ZBIKOWSKI, P. J.; JONES, B. W. Measurement and prediction of the insulation provided by bedding systems. **ASHRAE transactions**, v. 93, p. 1055-1068, 1987.

NICOL, F. Temperature and sleep**. Energy and Buildings**, v. 204, p. 109516, 2019.

OMIDVAR, A.; KIM, J. Modification of sweat evaporative heat loss in the PMV/PPD model to improve thermal comfort prediction in warm climates. **Building and Environment**, v. 176, p. 106868, 2020.

OPP, M.R. Sleeping to fuel the immune system: mammalian sleep and resistance to parasites, **BMC Evol. Biol.** 9 (2009) 8–10resistance to parasites, BMC Evol. Biol. 9 (2009) 8–10.

PAN, D. et al. A four-node thermoregulation model for predicting the thermal physiological responses of a sleeping person. **Building and Environment**, v. 52, p. 88-97, 2012.

SEKHAR, S. C.; GOH, S. E. Thermal comfort and IAQ characteristics of naturally/mechanically ventilated and air-conditioned bedrooms in a hot and humid climate. **Building and Environment**, v. 46, n. 10, p. 1905-1916, 2011.

SONG, Cong; LIU, Yanfeng; LIU, Jiaping. The sleeping thermal comfort model based on local thermal requirements in winter. **Energy and Buildings**, v. 173, p. 163-175, 2018.

SONG, Cong; LIU, Yanfeng; LIU, Jiaping; ZHOU, Xiaojun. Investigation of human thermal comfort in sleeping environments basedon the effects of bed climate. **Procedia Engineering**, v. 121, p. 1126-1132, 2015.

SONG, Cong; ZHAO, Tingting; SONG, Zhiyuan; LIU, Yanfeng. Effects of phased sleeping thermal environment regulation on human thermal comfort and sleep quality. **Building and Environment**, v. 181, p. 107108, 2020.

TSANG, T. W.; MUI, K. W.; WONG, L. T. Investigation of thermal comfort in sleeping environment and its association with sleep quality. **Building and Environment**, v. 187, p. 1-11, 2021.

ZHANG, N., CAO, B., Y.X. ZHU, Indoor environment and sleep quality: a research based on online survey and field study, **Building and environment**. v. 137, p. 198–207, 2018.

ZHANG, N.; CAO, B.; ZHU, Y. An effective method to determine bedding system insulation based on measured data. In: **Building Simulation**. Tsinghua University Press, p. 1-12, 2022.

ZHANG, S.; LIN, Z. Adaptive-rational thermal comfort model: Adaptive predicted mean vote with variable adaptive coefficient. **Indoor air**, 2020.

ZHANG, Y.; XIAO, A.; ZHENG, T.; XIAO, H.; HUANG, R. The Relationship between Sleeping Position and Sleep Quality: A Flexible Sensor-Based Study. **Sensors**, v. 22, n. 16, p. 6220, 2022.

ZHAO, Q.; LIAN, Z.; LAI, D. Thermal comfort models and their developments: A review. **Energy and Built Environment**, v. 2, n. 1, p. 21-33, 2021.