



XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

INFLUÊNCIA DA UMIDADE DO AR NO CONFORTO TÉRMICO DE USUÁRIOS DE EDIFICAÇÕES DE ESCRITÓRIOS LOCALIZADAS NO CLIMA SUBTROPICAL ÚMIDO DE FLORIANÓPOLIS/SC

Candi Citadini de Oliveira (1); Ricardo Forgiarini Rupp (2); EneDir Ghisi (3)

(1) Graduanda em Engenharia Civil, candi.c.oliveira@gmail.com

(2) Doutor, Pós-Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, ricardorupp@gmail.com

(3) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, enedir.ghisi@ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Cx Postal 476, Florianópolis-SC, 88040-900, Tel.: (48) 3721-2392

RESUMO

Cada vez mais, o conforto térmico apresenta elevada importância para a conservação de energia, bem como para a satisfação e a performance dos usuários. Um fator importante a ser considerado nas análises de conforto térmico é a umidade do ar. Com base nisso, este estudo foi realizado com o objetivo de investigar a percepção térmica e a percepção quanto à umidade do ar de usuários de escritórios localizados no clima subtropical úmido de Florianópolis/SC. A partir de dados previamente coletados em campo, foram efetuadas análises estatísticas considerando a umidade do ar e as respostas subjetivas dos usuários obtidas por meio de um questionário eletrônico. Analisou-se a percepção térmica e da umidade do ar de ocupantes de uma edificação com sistema central de ar-condicionado e duas edificações híbridas, onde houve alternância entre os modos de operação por ventilação natural e por ar-condicionado. Os resultados obtidos apontam que a maioria das pessoas considerou a sensação térmica e a sensação de umidade neutras, e o ambiente térmico aceitável e confortável. Isto pode estar relacionado à aclimação dos usuários e à ausência de condições internas com elevadas temperaturas e altas umidades do ar simultaneamente. Ademais, assim como apontam outros autores, verificou-se a importância da utilização da umidade absoluta em vez da umidade relativa nas análises de conforto térmico.

Palavras-chave: umidade do ar, conforto térmico, ventilação híbrida.

ABSTRACT

More and more, the thermal comfort presents a high importance for energy conservation, as well as user satisfaction and performance. An important factor to be considered in thermal comfort analysis is the air humidity. Based on this, this study was carried out with the aim of investigating the thermal perception and the air humidity perception of users in office buildings located in the humid subtropical climate of Florianópolis/SC, southern Brazil. From field data previously collected, statistical analysis were performed considering the air humidity and users subjective responses obtained by means of an electronic questionnaire. The thermal perception and the air humidity perception of occupants of a building with central air-conditioning system and two mixed-mode buildings, in which there was alternation between the natural ventilation mode and the air-conditioning mode, were analysed. The results obtained indicate that most people considered the thermal sensation and the humidity sensation neutral, as well as acceptable and comfortable thermal environment. This may be related to the acclimatization of users and the absence of indoor conditions with simultaneously high temperatures and high air humidity. In addition, as other authors have pointed out, it was verified the importance of the use of absolute humidity instead of relative humidity in the analysis of thermal comfort.

Keywords: air humidity, thermal comfort, hybrid ventilation.

1. INTRODUÇÃO

O conforto térmico apresenta elevada importância para a satisfação e a performance de usuários de diferentes tipos de edificações, visto que melhora o seu bem-estar e rendimento. Além disso, exibe alto potencial de conservação de energia, uma vez que o conhecimento das condições e dos parâmetros relacionados ao conforto térmico permite selecionar a melhor alternativa de condicionamento do ambiente térmico e ajustar as condições ambientais de acordo com as preferências dos ocupantes.

Um fator importante a ser considerado nas análises de conforto térmico é a umidade do ar. Esta variável ambiental já foi estudada em diferentes locais, como em câmaras climáticas (CHOW et al., 2010; JING et al., 2013; TOFTUM; JORGENSEN; FANGER, 1998; ZHAI et al., 2013; ZHAI et al., 2017), em salas de aula (BUONOCORE et al., 2018; GIVONI et al., 2006), em residências (RIJAL et al., 2015) e em edificações de escritórios (DAMIATI et al., 2016; WAGNER et al., 2007). Destaca-se que a maioria dos estudos envolvendo a umidade do ar foi realizada em locais de clima quente e úmido.

Apesar de a maioria dos estudos considerar em suas análises a umidade relativa do ar, Nicol, Humphreys e Roaf (2012) e Givoni et al. (2006) sugerem a utilização da umidade absoluta do ar, que pode ser expressa pela pressão parcial de vapor da água ou pela razão de umidade. A justificativa dos autores refere-se ao fato de a umidade relativa estar associada à temperatura do ar, o que pode confundir o efeito da umidade no conforto térmico, enquanto isso não acontece para a razão de umidade.

No que diz respeito à redução no consumo de energia por parte dos sistemas de ar-condicionado, Chow et al. (2010) sugerem que é mais eficiente elevar a velocidade do ar no ambiente do que reduzir a temperatura e a umidade do ar, considerando-se o mesmo nível de conforto térmico. Por outro lado, Damiani et al. (2016) e Zhai et al. (2013) afirmam que valores adequados de umidade do ar apresentam potencial de conservação de energia devido à ampliação dos limites aceitáveis de temperatura interna. Ademais, mantêm os ocupantes confortáveis, visto que intensificam o processo de evaporação no corpo, aumentando, assim, a perda de calor para o ambiente em locais quentes.

Buonocore et al. (2018) e Jing et al. (2013) afirmam que, a altas temperaturas, elevados valores de umidade relativa estão geralmente relacionados à menor aceitabilidade térmica do ambiente e ao maior desconforto térmico, além de implicarem em maiores votos de sensação térmica. Em contrapartida, Chow et al. (2010), Givoni et al. (2006) e Zhai et al. (2017) observaram fraca influência da umidade relativa sobre a sensação térmica. Givoni et al. (2006) sugerem que a insensibilidade dos usuários aclimatados quanto à umidade do ar possa ser explicada pelo fato de as pessoas estarem acostumadas com a elevada umidade da região, porém apontam a necessidade de outros estudos em ambientes quentes e úmidos para confirmar esta análise.

Damiati et al. (2016) e Rijal et al. (2015) não identificaram influência da umidade relativa e da umidade absoluta em relação à temperatura de conforto térmico, mas verificaram que as duas variáveis apresentam forte relação com os votos subjetivos de umidade. No entanto, Wagner et al. (2007), ao correlacionar os valores de umidade relativa e umidade absoluta com a percepção de umidade por parte dos ocupantes, não encontraram evidência de relação entre essas variáveis.

Toftum, Jorgensen e Fanger (1998) avaliaram o efeito da umidade da pele na percepção e no conforto térmico dos usuários para a condição de neutralidade térmica. Os autores observaram que, à medida que a umidade da pele aumenta, menor é a aceitabilidade dos usuários em ambientes com elevada umidade do ar. Rijal et al. (2015) observaram que a umidade relativa e a umidade absoluta do ar estão relacionadas à umidade da pele, cujo aumento gera redução na temperatura interna de conforto. Isso ocorre pelo fato de a umidade reduzir o processo de evaporação que acontece entre o corpo e o ambiente, havendo menor perda de calor. A partir disso, é possível compreender que as umidades relativa e absoluta do ambiente apresentam influência indireta no conforto térmico dos ocupantes, sendo que valores mais baixos de umidade possibilitam maiores temperaturas de conforto e, com isso, redução da necessidade de condicionamento artificial do ar.

Desta forma, a comparação de estudos relacionados aos efeitos da umidade do ar no conforto térmico permite perceber a disparidade de resultados obtidos quanto à importância desta variável. Algumas pesquisas apontam a tendência de melhoria da sensação térmica e do conforto térmico, bem como o aumento da aceitabilidade térmica dos ocupantes, com a redução da umidade do ar e da umidade da pele, enquanto outras não verificaram influência desta variável no conforto térmico dos usuários analisados. Portanto, verifica-se a importância de realizar novos estudos e investigações a respeito da influência da umidade do ar no conforto térmico, principalmente em regiões de clima quente e úmido.

2. OBJETIVO

O objetivo deste estudo é investigar a relação entre percepção térmica e a percepção quanto à umidade do ar de usuários de escritórios localizados no clima subtropical úmido de Florianópolis/SC.

3. MÉTODO

Este estudo baseia-se na análise de dados previamente coletados sob a perspectiva da variável umidade do ar. Utilizou-se parte dos dados referentes aos anos de 2015 e 2016 da tese de Rupp (2018), que foram coletados em três edificações de escritórios situadas em Florianópolis, Santa Catarina. A fim de não identificar as empresas envolvidas, as edificações foram designadas H1 e H2, para as edificações híbridas, e CC para a edificação com sistema central de ar-condicionado. Destaca-se que as edificações híbridas apresentam sistemas de ar-condicionado instalados e janelas acessíveis e operáveis pelos ocupantes, sendo que a alternância do modo de operação ocorre de acordo com a preferência dos usuários.

3.1. Contextualização dos dados utilizados

Os dados utilizados neste trabalho são oriundos de estudos de campo em escritórios. Simultaneamente, foram efetuadas medições das variáveis ambientais nos ambientes internos das edificações selecionadas para o estudo e coletados dados subjetivos dos usuários a partir de um questionário eletrônico (RUPP, 2018). Para a realização das medições das variáveis ambientais internas, foram usadas estações microclimáticas (confortímetros) para medir a temperatura do ar, a temperatura de globo, a velocidade do ar e a umidade relativa do ar. Utilizou-se também um termoanemômetro portátil para medições pontuais de temperatura do ar e velocidade do ar.

Quanto à coleta de dados subjetivos dos usuários das edificações estudadas, aplicou-se um questionário eletrônico o qual os usuários acessavam por meio de seus computadores pessoais. O questionário continha questões gerais sobre as características antropométricas e demográficas dos usuários e questões sobre a percepção térmica e da umidade do ar. A Tabela 1 apresenta as opções de resposta e os respectivos valores atribuídos para cada questão considerada no questionário.

Maiores informações sobre a coleta de dados em campo podem ser encontradas em Rupp (2018).

3.2. Análise de dados

Com o intuito de avaliar a relação entre os dados ambientais coletados em campo e os dados subjetivos obtidos a partir do questionário eletrônico, foram realizadas análises estatísticas envolvendo essas variáveis. Para que isto pudesse ser efetuado, calculou-se a umidade absoluta do ar com base nas medições de temperatura do ar e de umidade relativa do ar. Devido ao fato de que a umidade relativa se encontra associada à temperatura, considerou-se melhor utilizar a umidade absoluta nas análises, conforme sugerem Nicol, Humphreys e Roaf (2012). De acordo com a ISO 7726 (1998), a umidade absoluta pode ser expressa por meio da pressão parcial de vapor da água (Equações 1 e 2) ou da razão de umidade (Equação 3).

Tabela 1 – Opções de resposta e respectivos valores atribuídos para cada questão do questionário

Questões do questionário (variáveis subjetivas)	Opções de resposta	Valores atribuídos
Sensação térmica	Com muito calor	+3
	Com calor	+2
	Levemente calor	+1
	Neutro	0
	Levemente frio	-1
	Com frio	-2
	Com muito frio	-3
Preferência térmica	Mais resfriado	+1
	Assim mesmo	0
	Mais aquecido	-1
Aceitabilidade térmica	Inaceitável	+1
	Aceitável	0
Conforto térmico	Desconfortável	+1
	Confortável	0
Sensação de umidade*	Muito úmido	+3
	Úmido	+2
	Pouco úmido	+1
	Neutro	0
	Pouco seco	-1
	Seco	-2
	Muito seco	-3
Preferência quanto à umidade*	Diminuir a umidade	+1
	Não mudar	0
	Aumentar a umidade	-1
Aceitabilidade da umidade*	Inaceitável	+1
	Aceitável	0

* As questões referentes à umidade do ar apresentam uma opção extra em que se pode assinalar "Não sei responder".

$$P_{as} = 0,611 \exp\left(\frac{17,27T_a}{T_a + 273}\right) \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

P_{as} é a pressão de vapor da água saturada [kPa];

T_a é a temperatura do ar [°C].

$$P_a = \frac{P_{as} \cdot RH}{100} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

P_a é a pressão parcial de vapor da água [kPa];

P_{as} é a pressão de vapor da água saturada [kPa];

RH é a umidade relativa [%].

$$W_a = 622,0 \frac{P_a}{P - P_a} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

W_a é a razão de umidade [g/kg];

P_a é a pressão parcial de vapor de água [kPa];

P é a pressão atmosférica total [kPa], igual a 101,325 kPa.

A fim de resumir e possibilitar melhor compreensão visual dos dados referentes às variáveis ambientais, apresentou-se em uma tabela o número de observações, a média e o desvio padrão para cada edificação e modo de operação. O mesmo foi realizado quanto às seguintes variáveis antropométricas: idade, altura, peso, isolamento da vestimenta e atividade metabólica. Com o intuito de verificar de que maneira ocorre a distribuição dos dados referentes à sensação térmica e à sensação de umidade, foram feitos histogramas de frequência. Para as demais variáveis subjetivas, as frequências dos votos foram analisados por meio de uma tabela de acordo com o tipo de edificação e o modo de operação.

Efetuarão-se regressões lineares entre a temperatura do ar e as variáveis umidade relativa e razão de umidade. O mesmo foi realizado entre a sensação térmica e as duas variáveis ambientais. Foram criados gráficos de linha relacionando a temperatura do ar e a média dos votos de sensação térmica e preferência térmica de acordo com a razão de umidade. Também foram feitas regressões lineares entre a razão de umidade e a sensação, a preferência e a aceitabilidade da umidade. Realizaram-se ainda gráficos de barras empilhadas para avaliar a frequência dos votos de sensação, preferência e aceitabilidade da umidade em relação à razão de umidade. Destaca-se que, nos gráficos em que os valores de razão de umidade foram agrupados a cada 1 g/kg, consideraram-se apenas os intervalos com número de observações maior ou igual a 30.

4. RESULTADOS

A fim de investigar a influência da umidade do ar no conforto térmico de usuários de escritórios situados em Florianópolis, foi analisada a relação entre esta variável ambiental e a percepção térmica e quanto à umidade do ar.

4.1. Apresentação e caracterização dos dados

Os dados utilizados consistem de 2644 medições referentes às variáveis ambientais, sendo 268 da edificação H1, 1767 da edificação H2 e 609 da edificação CC. No total das respostas ao questionário eletrônico, 1570 foram feitas por homens e 1074 por mulheres. Nas edificações H1 e H2 foram, respectivamente, 147 e 688 respostas do gênero feminino e 121 e 1079 do gênero masculino, enquanto na edificação CC foram contabilizadas 239 respostas de mulheres e 370 de homens. Desta forma, percebe-se que, em duas das três edificações, a maior parte dos usuários é do gênero masculino.

Realizou-se a análise descritiva das variáveis ambientais para cada edificação e modo de operação, apresentada na Tabela 2, onde constam o número de observações, a média e o desvio padrão. As variáveis em questão são: temperatura do ar (T_a), temperatura externa do ar (T_{ext}), velocidade do ar (V_a), umidade relativa (RH), pressão parcial de vapor da água (P_a) e razão de umidade (W_a). Pode-se observar que, de maneira geral, a média da temperatura do ar e da velocidade do ar mantém-se semelhante para as três edificações e nos dois modos de operação. Por outro lado, a média de temperatura externa do ar foi inferior para as edificações híbridas no modo de operação por ventilação natural, indicando que a ventilação natural

foi utilizada principalmente em estações intermediárias e durante o inverno. Quanto à umidade relativa, à pressão parcial de vapor da água e à razão de umidade, verificaram-se valores superiores para o modo de operação por ventilação natural em relação ao ar-condicionado, o que pode estar relacionado à redução da umidade do ar pela utilização de aparelhos de ar-condicionado.

Tabela 2 – Análise descritiva das variáveis ambientais de acordo com a edificação e o modo de operação

Edificação	H1		H2		CC
Variável (média ± desvio padrão)	Modo de operação		Modo de operação		Modo de operação
	Ventilação natural (n=132)	Ar-condicionado (n=136)	Ventilação natural (n=1002)	Ar-condicionado (n=765)	Ar-condicionado (n=609)
Tar (°C)	23,0 ± 1,4	24,4 ± 1,2	23,5 ± 1,3	23,9 ± 1,2	24,0 ± 0,9
Text (°C)	18,6 ± 2,4	26,8 ± 1,1	18,8 ± 1,7	22,4 ± 2,8	23,6 ± 1,8
Var (m/s)	0,10 ± 0,01	0,19 ± 0,15	0,11 ± 0,08	0,11 ± 0,03	0,12 ± 0,08
RH (%)	69 ± 4	55 ± 8	66 ± 8	60 ± 5	63 ± 4
Pa (kPa)	1,614 ± 0,091	1,394 ± 0,232	1,590 ± 0,202	1,478 ± 0,147	1,558 ± 0,118
Wa (g/kg)	10,07 ± 0,58	8,68 ± 1,46	9,92 ± 1,28	9,21 ± 0,93	9,72 ± 0,75

Foi efetuada também a análise descritiva das variáveis antropométricas idade, altura, peso, isolamento da vestimenta e atividade metabólica. Na Tabela 3, encontram-se o número de observações, a média e o desvio padrão destas variáveis para cada edificação e modo de operação. É possível observar que, de modo geral, a média de idade, altura, peso e atividade metabólica é similar para os usuários das três edificações. Quanto ao isolamento da vestimenta, pode-se identificar valores levemente maiores para o modo de operação por ventilação natural em relação ao ar-condicionado, o que pode ser justificado pelo fato de que a ventilação natural foi predominantemente usada em estações intermediárias e no inverno.

Tabela 3 – Análise descritiva das variáveis antropométricas de acordo com a edificação e o modo de operação

Edificação	H1		H2		CC
Variável (média ± desvio padrão)	Modo de operação		Modo de operação		Modo de operação
	Ventilação natural (n=132)	Ar-condicionado (n=136)	Ventilação natural (n=1002)	Ar-condicionado (n=765)	Ar-condicionado (n=609)
Idade (anos)	41 ± 10	38 ± 9	38 ± 11	37 ± 10	38 ± 10
Altura (m)	1,68 ± 0,09	1,73 ± 0,09	1,70 ± 0,10	1,71 ± 0,10	1,72 ± 0,09
Peso (kg)	72 ± 13	76 ± 17	75 ± 15	76 ± 16	76 ± 17
Isolamento da vestimenta (clo)	0,83 ± 0,28	0,55 ± 0,08	0,76 ± 0,20	0,62 ± 0,11	0,62 ± 0,10
Atividade metabólica (met)	1,2 ± 0,2	1,2 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,2 ± 0,1

A fim de verificar de que forma ocorre a distribuição do conjunto de dados, foram feitos histogramas de frequência da sensação térmica e da sensação de umidade, conforme as Figuras 1 e 2. Pode-se observar que, para todas as edificações, a maior parte dos votos indicou sensação térmica neutra – isto é, a maioria dos usuários não sentiu frio nem calor nas condições consideradas. Destaca-se que, nas edificações híbridas, houve uma quantidade levemente maior de votos referentes à sensação térmica de calor do que de frio, enquanto na edificação com sistema central de ar-condicionado observou-se o contrário. Também é possível verificar que, para as três edificações, a maioria dos ocupantes considerou a sensação de umidade neutra. Ademais, nota-se que houve maior quantidade de votos indicando ambiente úmido do que ambiente seco nas edificações híbridas para o modo de operação por ventilação natural, enquanto o oposto foi observado nas edificações híbridas para o modo de operação por ar-condicionado e na edificação com sistema central de ar-condicionado.

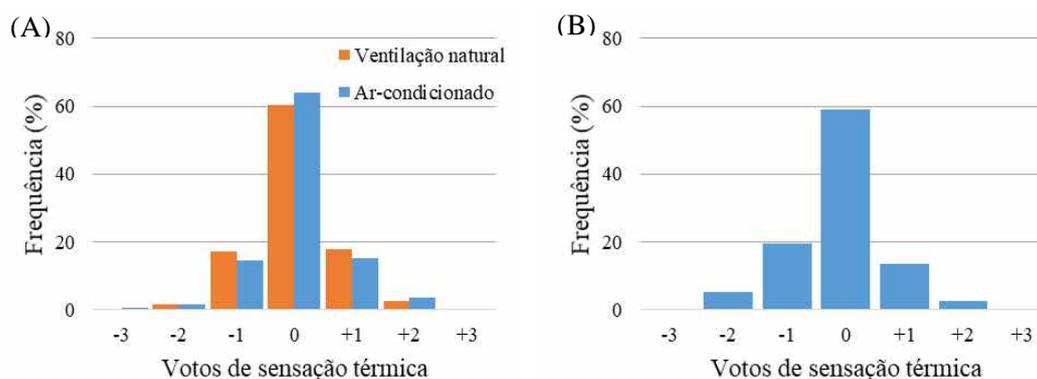


Figura 1 – Histograma de frequência dos votos de sensação térmica para (A) edificações híbridas de acordo com o modo de operação (n=2010) e (B) edificação com sistema central de ar-condicionado (n=609)

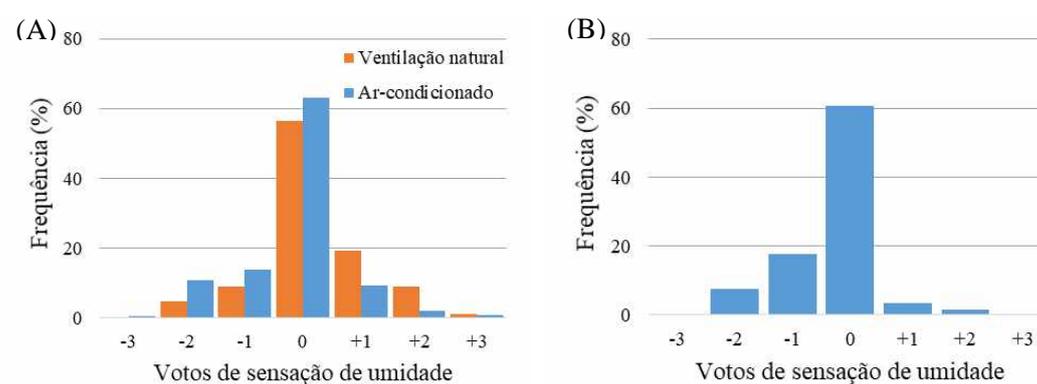


Figura 2 – Histograma de frequência dos votos de sensação da umidade para (A) edificações híbridas de acordo com o modo de operação (n=1870) e (B) edificação com sistema central de ar-condicionado (n=556)

Na Tabela 4, é possível observar, para cada tipo de edificação e modo de operação, as frequências dos votos das seguintes variáveis subjetivas: preferência térmica, aceitabilidade térmica, conforto térmico, preferência quanto à umidade e aceitabilidade da umidade. Pode-se constatar que, para as três edificações, a maioria dos votos indicou preferência térmica neutra – ou seja, a maior parte dos ocupantes preferia continuar se sentindo da maneira que estava no momento em que respondeu ao questionário. Além disso, percebe-se que todas as edificações apresentaram maior quantidade de votos nos quais as pessoas preferiam estar mais resfriadas do que mais aquecidas. Quanto à aceitabilidade térmica e ao conforto térmico, verifica-se que, em todas as edificações, mais de 80% dos participantes consideraram-se em conforto térmico e aceitaram o ambiente térmico no momento em que responderam o questionário eletrônico. Destaca-se que, nas edificações híbridas, o percentual de votos de aceitabilidade e conforto térmico foi superior no modo de operação por ventilação natural. Em relação à preferência quanto à umidade, observa-se que a maioria dos votos indica preferência por não mudar a umidade nas três edificações. Ademais, pode-se verificar preferência por diminuir a umidade nas edificações híbridas para o modo de operação por ventilação natural e preferência por aumentar a umidade nos demais casos, o que indica correspondência entre os votos de sensação de umidade e preferência quanto à umidade. Nota-se ainda que a aceitabilidade da umidade foi superior a 80% para todas as edificações. Destaca-se o significativo percentual de votos “Não sei responder” para as variáveis envolvendo a umidade do ar, sendo em torno de 10%.

4.2. Análise estatística dos dados

As variáveis razão de umidade e pressão parcial de vapor da água foram calculadas de acordo com equações determinadas na ISO 7726 (1998), sendo que a razão de umidade depende unicamente da pressão parcial de vapor da água. Neste estudo, a nível do mar, obteve-se que a relação entre as duas variáveis é linear e pode ser expressa de maneira simplificada por meio da Equação 4.

$$W_a = 6,3362 \cdot P_a - 0,1563$$

Equação 4

Onde:

W_a é a razão de umidade [g/kg];

P_a é a pressão parcial de vapor de água [kPa].

Tabela 4 – Frequência dos votos das variáveis subjetivas de acordo com a edificação e o modo de operação

Edificação	Híbridas		CC
	Modo de operação		Modo de operação
	Ventilação natural	Ar-condicionado	Ar-condicionado
Preferência térmica	(n=1134)	(n=876)	(n=609)
+1	16,9%	18,3%	20,9%
0	72,4%	70,9%	64,7%
-1	10,7%	10,8%	14,4%
Aceitabilidade térmica	(n=1134)	(n=876)	(n=609)
+1	4,9%	8,3%	6,6%
0	95,1%	91,7%	93,4%
Conforto térmico	(n=1134)	(n=875)	(n=609)
+1	12,9%	16,6%	17,4%
0	87,1%	83,4%	82,6%
Preferência quanto à umidade	(n=1134)	(n=901)	(n=609)
+1	15,7%	4,2%	2,3%
0	67,0%	70,9%	62,7%
-1	7,7%	11,7%	19,7%
"Não sei responder"	9,6%	13,2%	15,3%
Aceitabilidade da umidade	(n=1134)	(n=901)	(n=609)
+1	5,9%	6,2%	3,9%
0	87,2%	83,4%	84,4%
"Não sei responder"	6,9%	10,4%	11,7%

As análises, referentes às Figuras 3 a 14, foram realizadas considerando-se os dados conjuntos de todas as edificações e modos de operação.

As Figuras 3 e 4 apresentam a relação entre a temperatura do ar e as variáveis umidade relativa e razão de umidade. À medida que ocorre elevação da temperatura do ar, pode-se observar a leve tendência de redução da umidade relativa e de aumento da razão de umidade.

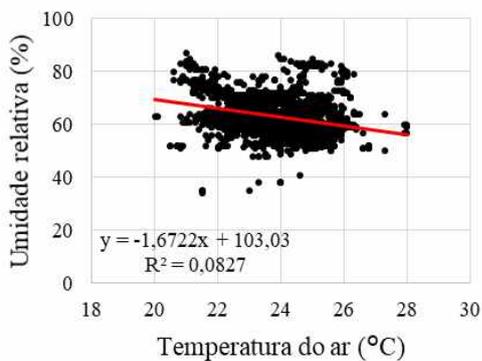


Figura 3 – Relação entre temperatura do ar e umidade relativa (n=2644)

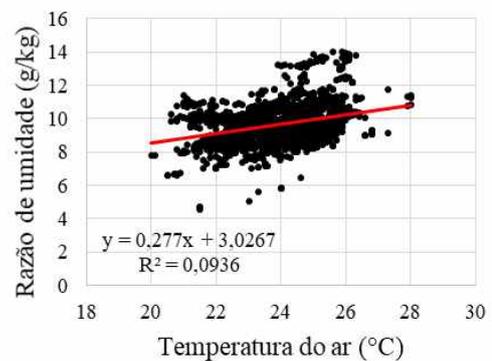


Figura 4 – Relação entre temperatura do ar e razão de umidade (n=2644)

Nas Figuras 5 e 6, é apresentada a sensação térmica em função da umidade relativa e da razão de umidade, respectivamente. Conforme o aumento da umidade relativa, pode-se observar a tendência de redução da sensação térmica. Por outro lado, o aumento da razão de umidade tende a gerar elevação da sensação térmica. Resultados consoantes foram obtidos por Givoni et al. (2006), que os justificaram pela tendência de elevados valores de umidade relativa estarem geralmente associados a baixas temperaturas, sendo que estas podem apresentar influência sobre o efeito da umidade no conforto térmico. Em contrapartida, os autores verificaram que a razão de umidade praticamente não varia conforme a temperatura do ar.

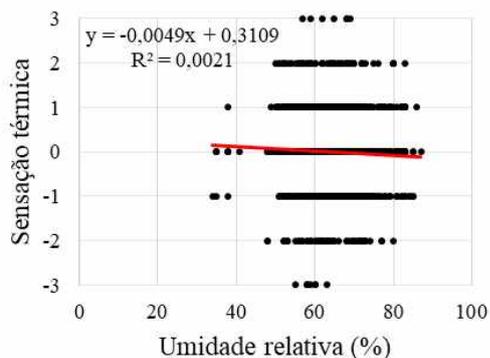


Figura 5 – Sensação térmica em função da umidade relativa (n=2644)

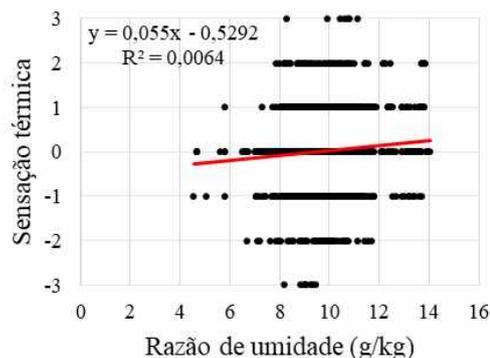


Figura 6 – Sensação térmica em função da razão de umidade (n=2644)

Portanto, uma vez que as variáveis pressão parcial de vapor da água e razão de umidade são correspondentes, sendo que esta é utilizada mais frequentemente em cartas psicrométricas, e que o esperado é a sensação térmica aumentar conforme a umidade, as próximas análises envolvendo umidade foram baseadas apenas na razão de umidade.

Com o intuito de analisar a relação entre a temperatura do ar e a média dos votos de sensação térmica e preferência térmica de acordo com a razão de umidade, foram efetuadas as Figuras 7 e 8. De maneira geral, é possível verificar que a média dos votos de sensação térmica e de preferência térmica apresentou pouca variação em torno de “neutro” e “não mudar”, respectivamente. Houve leve tendência de aumento da sensação e da preferência térmica conforme a elevação da temperatura do ar para todos os valores de razão de umidade considerados, com exceção de 11 g/kg.

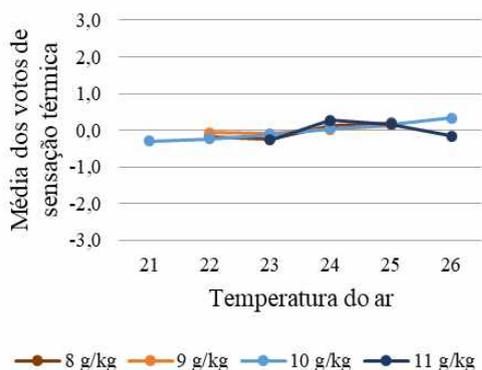


Figura 7 – Relação entre a temperatura do ar e a média dos votos de sensação térmica de acordo com a razão de umidade (n=2363)

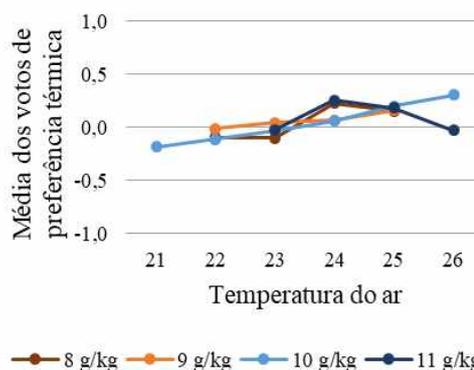


Figura 8 – Relação entre a temperatura do ar e a média dos votos de preferência térmica de acordo com a razão de umidade (n=2363)

Foram realizadas regressões lineares e correlações entre a razão de umidade e a sensação, a preferência e a aceitabilidade da umidade (Figuras 9 a 11). Pode-se observar que, com o aumento da razão de umidade, há a tendência de aumento da sensação e da preferência quanto à umidade e a tendência de redução da aceitabilidade da umidade. No entanto, a correlação entre as variáveis é bastante fraca.

Avaliou-se a frequência dos votos de sensação, preferência e aceitabilidade da umidade em relação à razão de umidade (Figuras 12 a 14). Destaca-se que os dados referentes à opção de resposta “Não sei responder” não foram inclusos nestas análises. É possível observar que, para todos os valores de razão de umidade considerados, a maioria dos votos indicou sensação de umidade neutra e preferência por não mudar a umidade. Com o aumento da razão de umidade, verifica-se a tendência de aumento dos votos indicando sensação de ambiente úmido e preferência por diminuir a umidade. Simultaneamente, ocorre a tendência de redução dos votos indicando sensação de ambiente seco e preferência por aumentar a umidade, conforme o esperado. A única exceção a estes resultados foi a razão de umidade igual a 12 g/kg, em que se observa o contrário. Nota-se ainda que a aceitabilidade da umidade foi superior a 80% para todos os valores de razão de umidade.

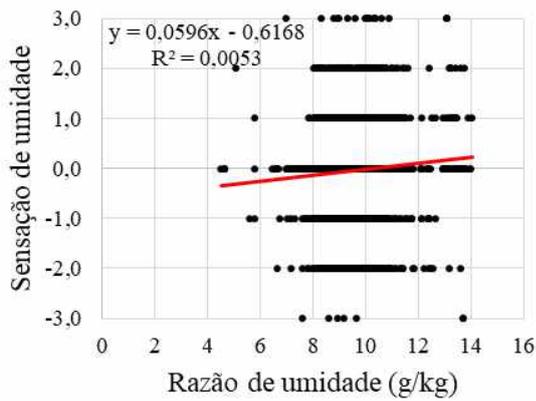


Figura 9 – Regressão linear entre a razão de umidade e a sensação de umidade (n=2426)

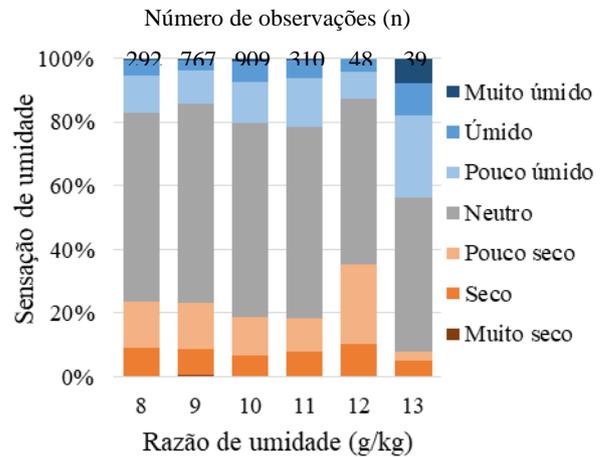


Figura 12 – Frequência dos votos de sensação da umidade de acordo com a razão de umidade

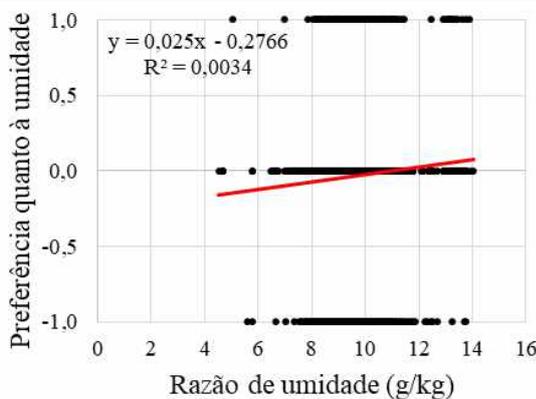


Figura 10 – Regressão linear entre a razão de umidade e a preferência quanto à umidade (n=2323)

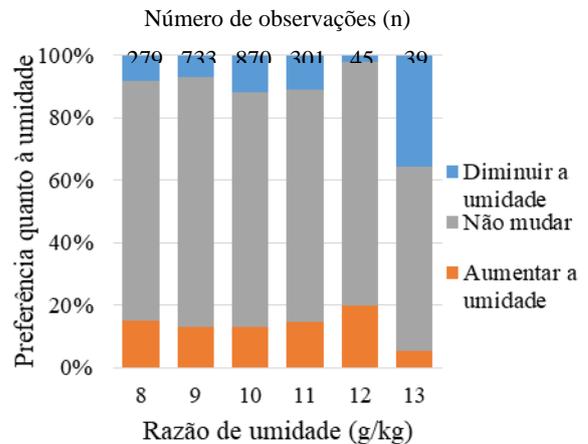


Figura 13 – Frequência dos votos de preferência quanto à umidade de acordo com a razão de umidade

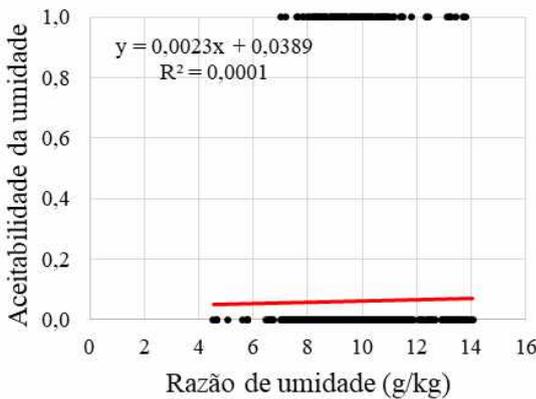


Figura 11 – Regressão linear entre a razão de umidade e a aceitabilidade da umidade (n=2401)

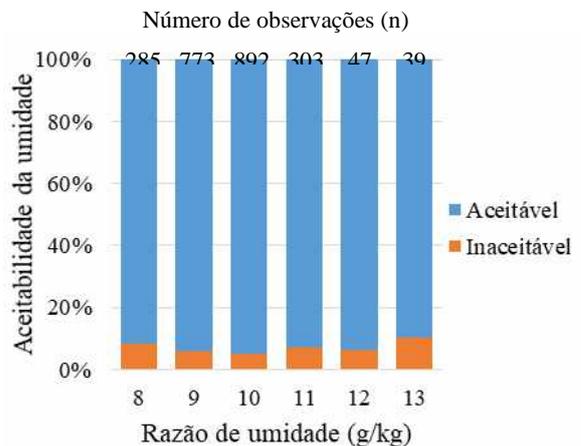


Figura 14 – Frequência dos votos de aceitabilidade da umidade de acordo com a razão de umidade

5. CONCLUSÕES

Neste estudo, foram considerados dados de edificações reais e, por isso, houve distribuição desigual de dados para cada intervalo das variáveis ambientais consideradas. Apesar de dificultar a realização de algumas análises devido ao pequeno número de observações em alguns casos, a coleta de dados em edificações existentes permite representação mais fiel da realidade no que diz respeito às variações das variáveis ambientais e à complexidade do ambiente real em que estão os usuários. Destaca-se que neste trabalho foram considerados dados apenas de edificações de escritórios situadas em clima subtropical úmido.

De maneira geral, para todas as edificações e modos de operação, pode-se observar que a maior parte dos usuários considerou a sensação térmica e a preferência térmica neutras, além de ambiente térmico aceitável e confortável. Em relação à umidade do ar, verifica-se que a maioria dos dados indica sensação de umidade neutra e preferência por não mudar a umidade, além de aceitabilidade da umidade superior a 80%. Visto que a umidade do ar em Florianópolis é elevada durante o ano todo devido à proximidade com o mar, é possível que os usuários estejam adaptados às condições de umidade locais. Além disso, destaca-se que, para elevados valores de temperatura do ar, os ocupantes optaram por utilizar o sistema de ar-condicionado, que reduz a umidade do ambiente. Assim, problemas de desconforto térmico apontados em outros estudos (BUONOCORE et al., 2018; JING et al., 2013; ZHAI et al., 2013) associados a elevadas umidades com temperaturas elevadas não foram observados neste trabalho.

Os resultados obtidos apontam que a razão de umidade e a pressão parcial de vapor da água apresentam uma relação linear entre si que pode ser expressa por uma equação simplificada. Também se observa que a elevação da temperatura do ar e da sensação térmica está relacionada à redução da umidade relativa e ao aumento da razão de umidade. A partir disso, verifica-se que a razão de umidade é a variável que melhor representa a umidade do ar. Assim, apesar de a umidade relativa ser mais frequentemente utilizada em estudos sobre conforto térmico, recomenda-se o uso da razão de umidade em pesquisas futuras.

De modo geral, não se identifica significativa influência da razão de umidade em relação à sensação, à preferência, à aceitabilidade e ao conforto térmico. No entanto, os resultados indicam concordância entre a variação da razão de umidade e as respostas subjetivas de sensação, preferência e aceitabilidade da umidade. Assim, percebe-se a necessidade de serem realizados novos estudos a respeito do efeito da umidade do ar na percepção térmica e na percepção quanto à umidade do ar, principalmente em locais de clima quente ou subtropical e úmido.

REFERÊNCIAS

- BUONOCORE, C.; DE VECCHI, R.; SCALCO, V.; LAMBERTS, R. Influence of relative air humidity and movement on human thermal perception in classrooms in a hot and humid climate. **Building and Environment**, v. 146, p. 98-106, 2018.
- CHOW, T. T.; FONG, K. F.; GIVONI, B.; LIN, Z.; CHAN, A. L. S. Thermal sensation of Hong Kong people with increased air speed, temperature and humidity in air-conditioned environment. **Building and Environment**, v. 45, n. 10, p. 2177-2183, 2010.
- DAMIATI, S. A.; ZAKI, S. A.; RIJAL, H. B.; WONORAHARDJO, S. Field study on adaptive thermal comfort in office buildings in Malaysia, Indonesia, Singapore, and Japan during hot and humid season. **Building and Environment**, v. 109, p. 208-223, 2016.
- GIVONI, B.; KHEDARI, J.; WONG, N. H.; FERIADI, H.; NOGUCHI, M. Thermal sensation responses in hot, humid climates: effects of humidity. **Building Research and Information**, v. 34, n. 5, p. 496-506, 2006.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726**: Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities. 2. ed. Geneva: ISO, 1998. 54 p.
- JING, S.; LI, B.; TAN, M.; LIU, H. Impact of Relative Humidity on Thermal Comfort in a Warm Environment. **Indoor and Built Environment**, v. 22, n. 4, p. 598-607, 2013.
- NICOL, F.; HUMPHREYS, M.; ROAF, S. **Adaptive Thermal Comfort Principles and Practice**. Abingdon: Routledge, 2012.
- RIJAL, H. B.; HUMPHREYS, M.; NICOL, F. Adaptive thermal comfort in Japanese houses during the summer season: behavioral adaptation and the effect of humidity. **Buildings**, v. 5, n. 3, p. 1037-1054, 2015.
- RUPP, R. F. **Conforto térmico humano em edificações de escritórios localizadas no clima subtropical úmido de Florianópolis/SC**. 2018. 289f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.
- TOFTUM, J.; JORGENSEN, A. S.; FANGER, P. O. Upper limits for indoor air humidity to avoid uncomfortably humid skin. **Energy and Buildings**, v. 28, n. 1, p. 1-13, 1998.
- WAGNER, A.; GOSSAUER, E.; MOOSMANN, C.; GROPP, T.; LEONHART, R. Thermal comfort and workplace occupant satisfaction – Results of field studies in German low energy office buildings. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 7, p. 758-769, 2007.
- ZHAI, Y.; ZHANG, H.; ZHANG, Y.; PASUT, W.; ARENS, E.; MENG, Q. Comfort under personally controlled air movement in warm and humid environments. **Building and Environment**, v. 65, p. 109-117, 2013.
- ZHAI, Y.; ARENS, E.; ELSWORTH, K.; ZHANG, H. Selecting air speeds for cooling at sedentary and non-sedentary office activity levels. **Building and Environment**, v. 122, p. 247-257, 2017.