

## Calorímetro de baixo custo para a avaliação do conforto térmico do vestuário

*Low cost calorimeter for clothing thermal comfort evaluation*

**Tayane Caroline Fiametti Camera**

Universidade Federal do Paraná

tayanefcamera@gmail.com ✉

**Aloísio Leoni Schmid**

Universidade Federal do Paraná

aloisio.schmid@gmail.com ✉

## PROJÉTICA

### COMO CITAR ESTE ARTIGO:

CAMERA, Tayane Caroline Fiametti; SCHMID, Aloísio Leoni. Calorímetro de baixo custo para a avaliação do conforto térmico do vestuário. **Projética**, Londrina, v. 14, n. 1, 2023.

DOI: 10.5433/2236-2207.2023.v14.n1.42638

**Submissão:** 19-02-2021

**Aceite:** 10-04-2023

**RESUMO:** O presente trabalho é a síntese de uma pesquisa de mestrado sobre o efeito do vestuário no conforto térmico. Seu objetivo foi desenvolver um método de baixo custo para mensuração da resistência térmica dos tecidos a partir de protótipos feitos em cerâmica. O equipamento foi desenvolvido ao longo de etapas experimentais. Na configuração final, oito amostras de tecido foram avaliadas em três diferentes variáveis climáticas. O protótipo desenvolvido teve seu desempenho satisfatório e os resultados podem orientar a escolha do tecido durante o design da roupa.

**Palavras-chave:** Conforto térmico. Design de moda. Vestuário. Manequim térmico.

**ABSTRACT:** *This paper is the synthesis of a master's research on the effect of clothing on thermal comfort. Its purpose was to develop a low-cost method for measuring the thermal resistance of fabrics by means of prototypes made in ceramics. The equipment was developed along experimental stages. In the final configuration, eight fabric samples were evaluated on three different variables. The prototype developed had a satisfactory performance and the results can help choosing the fabric in the fashion design.*

**Keywords:** *Thermal comfort. Fashion design. Clothing. Thermal manikin.*

## 1 INTRODUÇÃO

É possível definir conforto como um estado físico, psicológico e fisiológico de harmonia entre um indivíduo e o ambiente (SLATER, 1986). Também pode ser associado a um estado de neutralidade, com ausência de dor ou sofrimento (SLATER, 1977). Kolcaba (2003) define conforto como a experiência imediata da pessoa ser fortalecida por ter as necessidades de alívio, liberdade e transcendência atendidas em quatro contextos da experiência humana holística – físico, psicológico, social

e ambiental. Esta definição, nos seus contextos físico e ambiental, considera o vestuário e o seu desempenho térmico.

A revolução industrial possibilitou para o mercado da moda uma mudança no seu sistema de produção, com aumento progressivo do volume e abatimento dos custos. Em complemento a esse movimento, a globalização minimizou as fronteiras e tornou acessível a moda em uma escala mundial. Com o aumento da produção, houve também o aumento na demanda de fibras têxteis e a busca por materiais de menor custo para tornar o produto final mais competitivo.

Dentro das fibras de menor custo, encontram-se as fibras sintéticas. Derivadas do petróleo, sua produção independe de fatores naturais como chuva, solo, e não está suscetível a pragas ou doenças. Por esses e outros fatores, o consumo de materiais sintéticos em relação aos naturais praticamente dobrou nos últimos 30 anos (ABIT, 2019 ; PEZZOLO, 2012).

Por terem origens diferentes daquelas das fibras sintéticas, é de se esperar que as fibras naturais tenham diferentes características e desempenho quando aplicadas ao vestuário. Uma característica relevante é o *regain*, que quantifica o teor de umidade no núcleo da fibra. Enquanto o algodão apresenta *regain* (peso da água como porcentagem do peso do tecido seco) de 8,5%, o poliéster possui menos de 1% de água em seu núcleo (AGUIAR NETO, 1996). Este dado tem implicação sobre o conforto térmico, pois a água presente na fibra aumenta sua capacidade de dissipar o calor corporal. Logo, é possível questionar: qual o impacto no desempenho térmico das roupas da substituição dos tecidos naturais pelos sintéticos no vestuário?

Para responder essa questão é necessário quantificar a resistência térmica dos tecidos. Isso é possível através de ferramentas de alta tecnologia, porém de

alto custo, como os manequins térmicos. Essa tecnologia não se encontra acessível para utilização em pesquisas. Então o problema de pesquisa é definido em: **como quantificar, com baixo custo, a resistência térmica dos tecidos de forma alternativa ao manequim térmico a fim de avaliar a sensação térmica que as roupas proporcionam?**

O trabalho tem como objetivo explorar um método alternativo de mensuração da resistência térmica dos têxteis aplicados ao vestuário a partir de materiais e processos de baixo custo. Em seguida será apresentado de forma sucinta o referencial teórico usado para o embasamento do trabalho. Em sequência, o método aplicado, os resultados obtidos e considerações finais.

## 2 CONFORTO TÉRMICO

Pode ser compreendido como conforto térmico o estado psicológico que expressa satisfação com o ambiente térmico (ASHRAE..., 1966; INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2005). Dois fatores fisiológicos podem simplificar a compreensão do conforto térmico de um indivíduo: a diferença de umidade entre a pele e o ambiente e a diferença de temperatura entre ambos (XAVIER, 2000). Fanger (1982) menciona em seu trabalho três variáveis para o conforto térmico: taxa metabólica, isolamento da roupa e clima (temperatura do ar, radiação, umidade e velocidade do ar). A roupa por si só já é uma variável complexa, pois abrange a resistência térmica do tecido, absorvidade e emissividade, além de isso mudar de acordo com a fração do corpo coberta (FANGER, 1982).

No entanto, sobre conforto térmico não há um consenso universal. Em 1963, Olgay (2015) estudou e definiu zonas de conforto de acordo com as nacionalidades. Por exemplo: para os britânicos, a faixa de temperatura confortável estava entre 14,4°C e 21,1°C, para os americanos essa faixa varia entre

20,5°C e 26,6 °C. Já nos trópicos a média de temperatura pairava entre 23,3°C e 29,4°C. Este estudo considerou além da posição geográfica, fatores como idade e metabolismo. Esses valores de conforto podem ter sofrido alteração com o tempo, mas demonstram que o conforto térmico também é afetado por valores culturais, não sendo um consenso global.

É importante ressaltar a diferença entre “conforto térmico” e “neutralidade térmica”. Enquanto o conforto é um estado de harmonia entre o corpo e o ambiente, na faixa de neutralidade o indivíduo não se queixa de desejar que o ambiente estivesse mais ou menos quente, mas seu corpo realiza um trabalho metabólico para manter sua temperatura numa faixa estável (FANGER, 1982; HESCHONG, 1978).

O estudo de Fanger deu origem à norma ISO 7730: 2005 com seus índices PMV (Predicted Mean Vote) e PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) que previam uma faixa média de pessoas satisfeitas com o ambiente térmico bem como a faixa de pessoas insatisfeitas. No entanto, estudos mais recentes apontam falhas no modelo, em relação às diferenças culturais de pessoas acostumadas com ambientes controlados e pessoas que vivem em áreas com mais edifícios com ventilação natural. Segundo De Dear e Brager (2002), pessoas que trabalham em locais artificialmente climatizados desenvolvem menor tolerância a variações climáticas, enquanto as que trabalham em ambientes com ventilação natural são mais tolerantes e usam outros mecanismos para se manter em conforto, como despir-se ou vestir mais camadas, tomar bebidas quentes ou frias, abrir ou fechar janelas, entre outros.

### 3 MANEQUIM TÉRMICO

Para mensurar o conforto térmico, é necessário entender quais recursos estão disponíveis. Experimentos com voluntários, além de dispendiosos, dependem de um número muito grande de indivíduos para apresentar dados confiáveis. Um dos recursos que chama atenção é o manequim térmico, que como o nome sugere, possui a forma do corpo humano e simula as reações físicas esperadas em determinadas situações. O manequim térmico é isento de variáveis como o metabolismo, hábitos e alimentos ingeridos, e mede a taxa de perda de calor pelo corpo com determinada roupa, simula a transpiração, se movimenta e tem diferentes temperaturas no tronco e membros, como o corpo humano (HOLMÉR, 2004).

O primeiro manequim térmico foi desenvolvido por Harwood Belding em 1941 para analisar as roupas utilizadas pelos militares (ENDRUSICK; STROSCHEIN; GONZALES, 2002). A evolução das tecnologias dos manequins térmicos é classificada em gerações, sendo a atual a terceira geração (FAN; CHEN, 2002). No entanto, essa tecnologia ainda é pouco acessível. Os manequins térmicos atuais possuem tecnologia capaz de simular a perda de calor pela transpiração ou por evaporação. Ainda não há um modelo que consiga alternar entre as duas formas de troca de umidade e temperatura como acontece naturalmente no corpo humano (SANTOS, 2009).

**Figura 1** - Manequim térmico de Newton

**Fonte:** TexControl (2016).<sup>1</sup>

O manequim térmico é uma ferramenta avançada e precisa para a mensuração da resistência térmica. No entanto, seu alto custo dificulta o acesso. Estima-se que haja pouco mais de cem manequins térmicos no mundo (HOLMÉR, 2004), e em uma investigação para esta pesquisa não foram encontradas informações sobre a posse de um manequim térmico por alguma instituição brasileira.

#### 4 RESISTÊNCIA TÉRMICA

Define-se inicialmente a resistência térmica específica  $Rt^*_{total}$  de um tecido aplicado sobre o corpo à temperatura  $T_{corpo}$  e imerso no ar à temperatura  $T_{ar}$  como sendo:

$$Rt^*_{total} = (T_{corpo} - T_{corpo}) / q$$

---

<sup>1</sup> De: <https://texcontrol.com.br/produto/equipamentos-de-teste-de-conforto-termico-avancado/>

Ou seja, é o quociente entre a temperatura do corpo, tomada na superfície, e a temperatura do ar, pela taxa de produção de calor dentro do corpo,  $q$  (W), também referida à unidade de superfície. O asterisco significa que é referida a uma unidade de área, e o termo “total” significa que considera todas as camadas envolvidas (ar aderido à pele, ar aderido ao tecido internamente, tecido, ar aderido ao tecido externamente).

## 5 FIBRAS TÊXTEIS

Os tecidos são formados a partir do entrelaçamento de pequenos filamentos que formam o fio, e depois entrelaçados formam o tecido plano ou malha. Esses filamentos são chamados de fibras e podem ter diferentes origens: vegetal, animal, química e mineral (não usada no mercado do vestuário) (PEZZOLO, 2012). Podem ser combinados e trançados de diferentes maneiras para formar tecidos e caimentos diferentes. Os tecidos estão presentes em vários setores: construção, automobilística, hospitalar e vestuário.

A classificação quanto à origem das fibras é dividida em dois grandes grupos: naturais e químicas. Dentro das fibras naturais encontram-se as de origem vegetal, animal e mineral; enquanto o grupo das fibras químicas se divide em artificiais e sintéticas. O algodão, por exemplo, é uma fibra natural vegetal, enquanto a lã é uma fibra natural de origem animal.



**Quadro 1** - Fibras Têxteis: Classificação quanto à origem

Naturais		Químicas	
Vegetais	Animais	Artificiais	Sintéticas
Algodão	Seda	Raiom acetato	Acrílico
Linho	Lã	Raiom viscose	Elastano
Juta	Crina	Modal	Poliamida
Rami		Tencel	Poliéster
Sisal			Polipropileno
Cânhamo			

**Fonte:** Adaptado de Pezzolo (2012).

As diferentes origens agregam diferentes características aos tecidos em relação ao aspecto, toque, resistência e hidrofiliidade. O *regain* é uma característica relacionada à quantidade de água presente no núcleo da fibra, e a presença dela em maior ou menor quantidade interfere na troca de umidade do tecido com o ambiente (AGUIAR NETO, 1996). Os altos índices de *regain* estão associados na sua maioria às fibras naturais, enquanto as sintéticas apresentam valores mais baixos. Outras características têxteis que estão ligadas ao conforto térmico são: o teor de ar na construção do tecido e a camada de ar entre a pele e a roupa (FANGER, 1982).

**Tabela 1** - Percentual de *regain* de algumas fibras

Origem	Fibra	Regain
Natural	Algodão	8,5%
	Linho	12%
	Seda	11%
	Lã	16%
Artificial	Viscose	13%
Sintética	Poliéster	Menos de 1%
	Poliamida	4,6%

**Fonte:** Adaptado de Aguiar Neto (1996).

## 6 MÉTODO

A primeira etapa do método consistiu em uma pesquisa bibliográfica para levantamento de lacunas e perspectivas a respeito do tema. Não foi encontrada nenhuma pesquisa com a proposta de desenvolver um artefato de baixo custo para mensuração da resistência térmica dos tecidos, o que foi encontrado foram trabalhos em que era analisado o desempenho de peças do vestuário de diferentes matérias primas.

A segunda parte foi o desenvolvimento do protótipo. O modelo cilíndrico foi adotado como um compromisso, tendo em vista a complexidade da geometria do corpo humano para a equação e também execução dos ensaios. Assim, o protótipo representa uma forma mais simplificada do corpo humano, como o braço ou a canela. Ao todo foram 4 modelos criados até chegar no modelo final. Em seguida foram realizados testes com diferentes amostras de tecido e feita a análise dos dados coletados. O método empregado foi o experimental de caráter exploratório-explicativo. A natureza da pesquisa aplicada, a finalidade é exploratória e a coleta de dados quantitativa.

## 7 GERAÇÃO DE PROTÓTIPOS

O desenvolvimento do protótipo para medição se deu em quatro modelos sucessivos até chegarmos em um modelo suficiente para a execução dos ensaios. Cada modelo será explicado detalhadamente a seguir.

O primeiro modelo foi produzido com um recipiente plástico com volume de 3 l, as extremidades do recipiente foram isoladas para que perdesse calor apenas pela área lateral. Dentro do recipiente havia uma resistência elétrica de 50

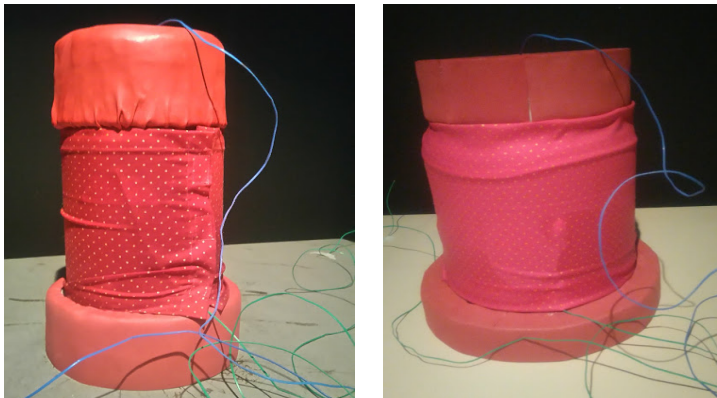
W, que estava ligada a um potenciômetro. A ideia inicial seria de medir a curva de aquecimento da água e a potência necessária para manter a temperatura constante, depois de uma estabilização assintótica. No entanto, nos ensaios realizados com esse protótipo a estabilidade de temperatura não foi alcançada mesmo depois de um período acima de 4 horas e chegando a uma temperatura muito alta a ponto de haver o risco do plástico do recipiente deformar. Seria necessário produzir, de modo controlado, uma potência muito baixa, e mesmo assim ter de esperar longo tempo pela estabilização.

A partir dessa constatação o método sofreu alterações. Em vez de ser calculada a curva de aquecimento da água no recipiente, foi decidido calcular a curva de resfriamento. A água então já seria introduzida aquecida por volta dos 80 °C e o termopar registraria a temperatura a cada 10 minutos até que a água alcançasse, também de forma assintótica, a temperatura ambiente.

O próximo passo seria descobrir uma forma de simular a transpiração para avaliar sua influência no resfriamento do corpo. A primeira simulação da transpiração foi feita com um *spray* para borrifar água no tecido, mas esse método pareceu pouco eficiente já que dependeria de uma pessoa aplicar o *spray* em intervalos constantes de tempo. Fora a dificuldade de homogeneizar a aplicação da água em todos os ensaios, o que poderia causar erros nas medições.

A ideia para o desenvolvimento do segundo protótipo foi a utilização de um material poroso, para simular a transpiração. Foi utilizada a parte superior de um filtro de barro em desuso para o primeiro teste. O material permite a evaporação gradual da água do interior, assemelhando-se com a reação do corpo com calor que libera água para favorecer o seu resfriamento. Os dois pontos negativos do emprego do filtro de barro foram o elevado peso, dado o grande volume de água e os vazamentos que aconteciam pelo furo inferior, mesmo com vedação.

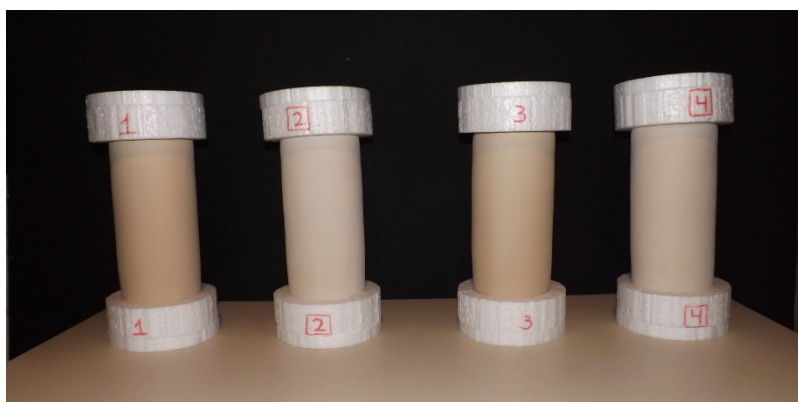
Figura 02 - Primeiro e segundo protótipos



Fonte: os autores (2018).

O terceiro protótipo foi confeccionado a partir de jarros cilíndricos de cerâmica faiança encontrados em lojas de produtos cerâmicos com volume de três litros cada. Para simular o comportamento do corpo tanto com, quanto sem a transpiração, foi aplicado um impermeabilizante cerâmico. No entanto, esse produto não apresentou uma impermeabilização satisfatória, agindo apenas como hidrofugante.

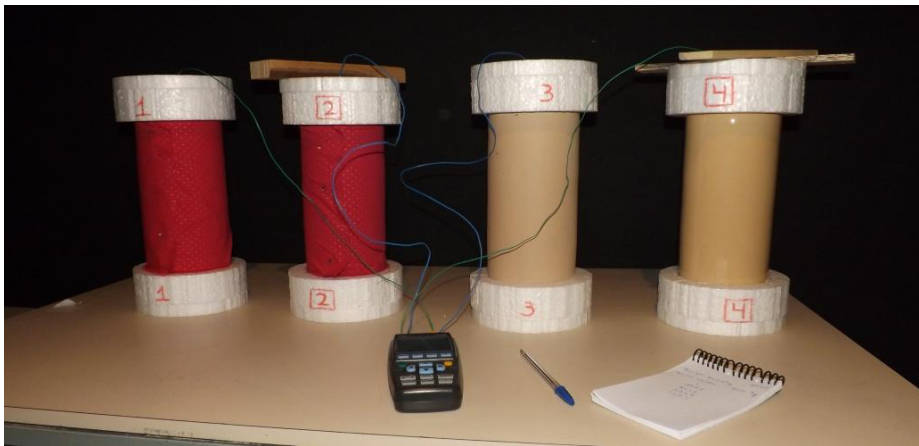
Figura 03 - Protótipos de cerâmica com vasos Itamarati



Fonte: os autores (2018).

Finalmente chegou-se ao modelo final de artefato experimental, sendo um modelo na cerâmica “crua” ou – como é tecnicamente chamado – biscoito e outro com aplicação de vidro líquido ou glasura apenas na superfície externa, técnica que acrescenta uma camada de vidro à cerâmica e remove sua porosidade.

**Figura 04** - Protótipos de cerâmica com glasura



**Fonte:** os autores (2018).

Outro acessório desenvolvido e adaptado para os ensaios foi uma espécie de afastador para acrescentar uma camada de ar entre o tecido e o protótipo para a avaliação da interferência da mesma na resistência térmica da roupa. Após diversas tentativas de desenvolvimento pela modelagem em 3D, a forma mais satisfatória de acrescentar essa camada foi com uma malha de isopor utilizada para proteger garrafas de vidro durante o transporte.

## 8 ESCOLHA DAS AMOSTRAS

Para verificar o funcionamento do manequim térmico de baixo custo, foram selecionadas oito amostras de tecido para serem analisadas. As oito amostras são de tecido plano, agrupados em pares: viscose e crepe 100% poliéster, algodão e linho, lã natural e lã sintética, sarja de algodão e oxford 100% poliéster. Todas as amostras foram selecionadas na mesma cor para que não houvesse interferência da absorção de radiação pela cor e as mesmas foram caracterizadas em laboratório, as informações estão descritas na tabela abaixo:

**Quadro 2** - Caracterização das amostras utilizadas

Amostra	Composição	Gramatura	Ligamento	Título (tex)	Cobertura	Aplicação
Crepe	100% Poliéster PES	117,6 g/m <sup>2</sup>	Tela 1x1	Trama: 8,10 Urdume: 8,54	96,5%	Vestidos, blusas
Viscose	100% Viscose CV	113,6 g/m <sup>2</sup>	Tela 1x1	Trama: 14,81 Urdume: 12,71	99,7%	Vestidos, blusas
Lã Natural	100% Lã WO	396 g/m <sup>2</sup>	Sarja 1x4	Trama: 161,54 Urdume: 156,2	98%	Casacos
Lã Batida	94% Poliéster PES 5% Viscose CV 1% Poliuretano PUE	409,4 g/m <sup>2</sup>	Tela 1x1	Trama: 67,75 Urdume: 36,2	98%*	Casacos
Brim	100% Algodão CO	270,2 g/m <sup>2</sup>	Tela 1x1	Trama: 54,94 Urdume: 37,09	100%	Calças, casacos
Oxford	100% Poliéster PES	150,6 g/m <sup>2</sup>	Tela 1x1	Trama: 35,42 Urdume: 35,43	100%	Calças, blazer
Linho	100% Linho CL	149,5 g/m <sup>2</sup>	Tela 1x1	Trama: 34,97 Urdume: 24,78	100%	Camisas, vestidos
Tricoline	100% Algodão CO	138 g/m <sup>2</sup>	Tela 1x1	Trama: 16,59 Urdume: 19,15	100%	Camisas, vestidos

\*A cobertura da lã batida não pode ser calculada com precisão por se tratar de um tecido com acabamento feltrado, que dificulta a medição. Dessa forma, será considerada cobertura semelhante à lã natural, por se tratarem de tecidos com mesma aplicação.

**Fonte:** os autores (2019).

Nesta tabela são utilizados os conceitos seguintes:

Composição: combinação de fibras utilizadas para a criação do fio tecido;

Gramatura: correlação da massa pela área do tecido. Definida em gramas por metro quadrado (ABNT, 2008);

Ligamento: estrutura utilizada para a construção do tecido. As ligações mais comuns no tecido plano são tela, sarja e cetim (ABNT, 1991);

Título (em tex): como na gramatura, é a relação da massa pelo comprimento dos fios, utilizado para estimar a espessura do fio. A medida em tex representa a massa necessária para formar mil metros de fio (AGUIAR NETO, 1996).

Cobertura: definida pela somatória dos diâmetros dos fios, lado a lado, contidos em uma estipulada unidade de comprimento (MEDEIROS, 1995).

Aplicação: peças do vestuário cuja utilização da amostra é mais comum.

## 9 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Os ensaios foram realizados com três simulações climáticas distintas:

- a. ambiente interno sem radiação com temperatura do ar a 18 °C e circulação do ar a 0,2 m/s;
- b. ambiente interno sem ventilação e radiação com temperatura do ar a 18 °C e circulação do ar a 0,2 m/s e irradiação simulada a partir de lâmpadas infravermelhas de secagem;
- c. ambiente interno sem radiação com temperatura do ar a 18 °C e circulação do ar a 2,2 m/s.

Em cada tipo de tecido, foram avaliadas duas amostras:

- Uma delas com o tecido sempre justo ao jarro;
- Uma delas afastada por uma camada de ar entre o tecido e o jarro.

Para a execução dos ensaios foram utilizados dois termômetros: um termômetro de marca ICEL e modelo TD-890 com termopares para medição da água dentro dos jarros e um termômetro de estresse térmico de marca Instrutherm e modelo TGD-300 com sensor seco, úmido e de globo, ambos com *datalogger* para registro das temperaturas.

Para cada simulação era realizado um ensaio inicial com os protótipos "nus", obtendo assim a resistência térmica inicial apenas dos jarros. No ambiente previamente climatizado de acordo com a simulação a ser realizada, os jarros eram cheios com água a 80 °C de um em um litro para que todos tivessem a mesma temperatura no início do ensaio, já que o resfriamento a água proporcionado pela cerâmica (principalmente a porosa) é significativo. Além do ensaio sem tecido foram realizados ensaios com as mesmas condições com todas as amostras. Os termopares registravam o resfriamento da água a cada 10 minutos.

Foi necessária a dedução de uma fórmula para determinar a resistência térmica de cada amostra.

Esta fórmula foi o resultado do balanço térmico do calorímetro recoberto pela amostra de tecido, num determinado instante

fluxo de calor retirado da massa (jarro+água) = fluxo de calor perdido para o meio

O lado esquerdo pode ser aproximado por:

$$(C_{\text{água}} - C_{\text{jarro}}/2) \times [T_{\text{água}}(t) - T_{\text{água}}(t-1)]/\Delta t$$



Somente metade da capacidade térmica do jarro é considerada (aquela metade mais interna). A outra metade é considerada integrada ao ar exterior.

O lado direito pode ser aproximado por:

$$(T_{\text{água}} - T_{\text{ar}}) / Rt^*_{\text{total}}$$

Substituindo ambos os lados tem-se:

$$Rt^*_{\text{total}} = \frac{T_{\text{água}}(t) - T_{\text{ar}}(t)}{(C_{\text{água}} - \frac{C_{\text{jarro}}}{2}) \frac{T_{\text{água}}(t) - T_{\text{água}}(t-1)}{\Delta t}}$$

Em que:

$C_{\text{água}}$  = capacidade térmica da água no interior do jarro (J/K)

$C_{\text{jarro}}$  = capacidade térmica do jarro vazio (J/K)

$T_{\text{jarro}}(t-1)$  = temperatura média da parede do jarro no instante t-1 (°C)

$T_{\text{jarro}}(t)$  = temperatura média da parede do jarro no instante t (°C)

t = intervalo de tempo entre sucessivas medições (s)

$T_{\text{água}}(t-1)$  = temperatura média da água no interior do jarro no instante t-1 (°C)

$T_{\text{água}}(t)$  = temperatura média da água no interior do jarro no instante t (°C)

$T_{\text{ar}}(t)$  = temperatura do ar externo e distante do jarro no instante t (°C)

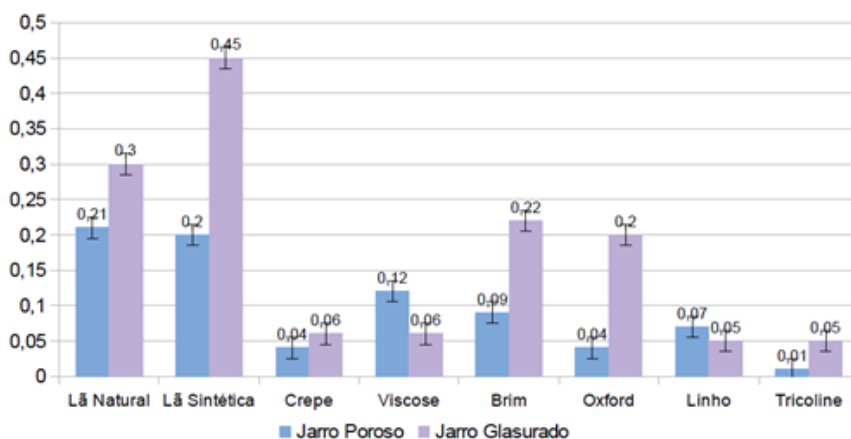
$Rt^*_{\text{total}}$  = resistência térmica tomada desde o interior do jarro, no meio da água, até o ar exterior, distante do jarro (K/W)

## 8 RESULTADOS E ANÁLISES

Os resultados dos ensaios foram agrupados de acordo com cada simulação. Assim é possível analisar a resistência térmica de todos os tecidos em cada situação.

### Ensaio simples

**Ensaio 01** - Resistência térmica dos tecidos: ensaio simples ( $m^2K/W$ )



Fonte: os autores (2019).

É possível observar que praticamente todas as amostras apresentaram um valor de resistência térmica bastante inferior para o jarro poroso, em relação ao jarro glasurado. Isto é porque a evaporação da água na superfície externa do tecido faz cair a temperatura na região, aumentando o fluxo de calor e acelerando o resfriamento da água. Este efeito sobre  $T_{\text{água}}$  (e não sobre  $T_{\text{ar}}$ , lido em posição afastada dos jarros) faz com que o valor de resistência térmica lido seja inferior.

Ficou evidente uma primeira limitação do experimento: a taxa excessivamente alta de perda de água por transpiração pelos jarros porosos, que se tomada por unidade de área, equivale a uma taxa metabólica de atividades físicas de alto desempenho. Este fato é desde já anotado como item de necessário aperfeiçoamento no futuro.

O fato de haver calor latente, e de isto influenciar na avaliação feita, corresponde bem ao que ocorre na prática. Lembramos aqui que a fórmula adotada para caracterizar o comportamento do tecido é restrita ao calor sensível (somente este é quantificado num indicador que é a resistência térmica do tecido). Para todos efeitos, é como se o tecido tivesse uma menor resistência térmica ao ar.

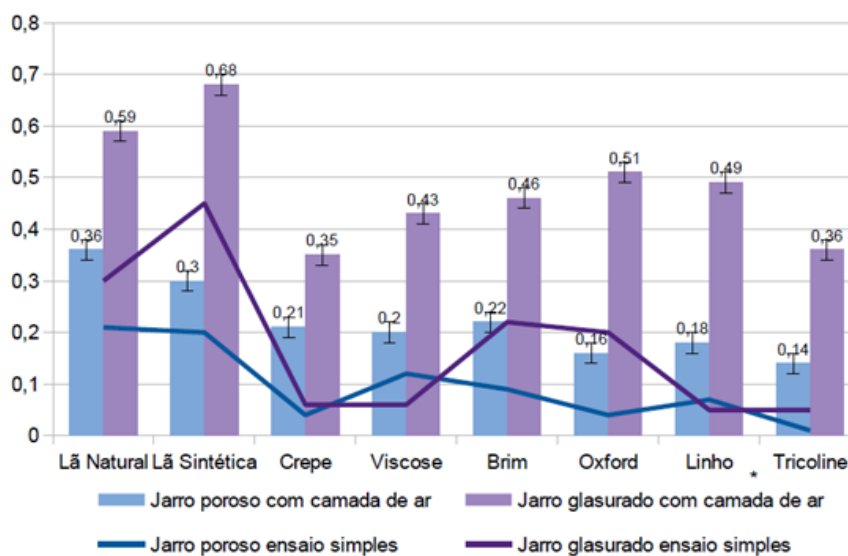
Ao contrário das outras amostras, a amostra de viscose e de linho apresentou  $R_t$  maior na amostra porosa. É possível que o excesso de umidade combinada com as fibras de muita afinidade com a água tenham causado saturação, dificultando a perda posterior de temperatura.

É possível observar que os tecidos sintéticos crepe e *oxford* tiveram resistência térmica consideravelmente menor do que os tecidos naturais no jarro poroso. Isso pode ser consequência do baixo regain do poliéster, de modo que a água disponível não é gasta na hidratação do tecido, mas é logo evaporada na superfície, causando uma queda na temperatura na superfície externa do tecido (para abaixo do  $T_{ar}(t)$  medido), aumentando o fluxo de resfriamento do jarro, e assim fazendo cair o  $T_{água}(t)$ . Portanto, dando a ideia de uma menor resistência térmica.

O fato de tecidos sintéticos secarem mais rápido que o tecido seque mais rápido corresponde ao esperado: o uso de fibras sintéticas para roupas esportivas é uma escolha que decorre do fato que a transpiração não se acumulará no tecido.

### Ensaio simples com camada de ar

**Ensaio 02** - Resistência térmica dos tecidos: ensaio simples com camada de ar (m<sup>2</sup>K/W)



Fonte: os autores (2019).

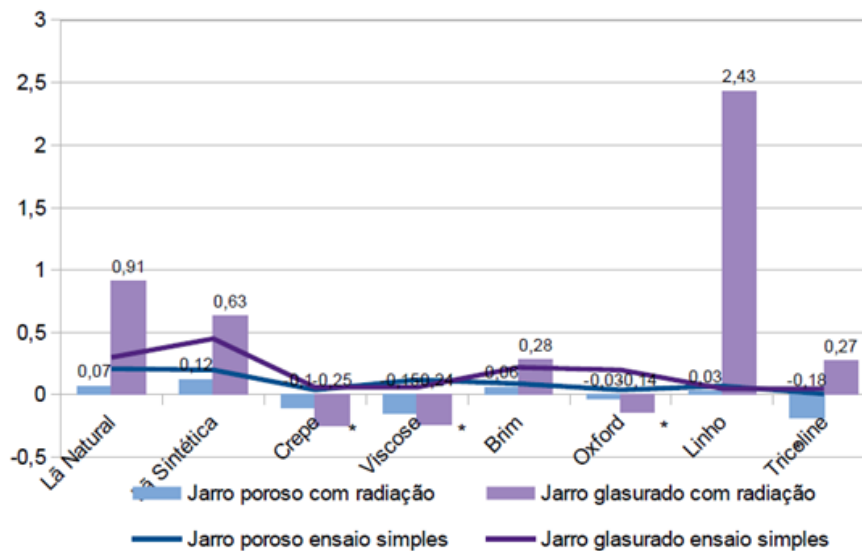
O ensaio com camada de ar nas mesmas condições resultou em valores de resistência térmica notavelmente mais altos que no ensaio sem camada de ar. Isto indica que, como esperado, a camada de ar, que é um elemento presente em sistemas de isolamento térmico utilizados em máquinas e na arquitetura, tem também grande influência na resistência térmica do vestuário.

Este fato era esperado, pois se sabe que a roupa aderida ao corpo apresenta um efeito inferior de proteção térmica que a roupa mais afastada; porém, isto se verifica desde que a camada de ar não seja ventilada, situação comum na prática,

com diversos possíveis percursos de ventilação num único traje, e que poderia subverter os resultados.

### Ensaio com radiação

**Ensaio 03** - Resistência térmica dos tecidos: ensaio com radiação ( $m^2K/W$ )



Fonte: os autores (2019).

Os ensaios com radiação as camadas superficiais dos tecidos se tornassem mais quentes que a própria superfície do jarro. Era de se esperar que este fato, levado à fórmula de resistência térmica, acarretasse em valores de resistência térmica negativos, cuja explicação não é de apelo intuitivo neste caso. O mesmo aconteceu com o ensaio de radiação e camada de ar.

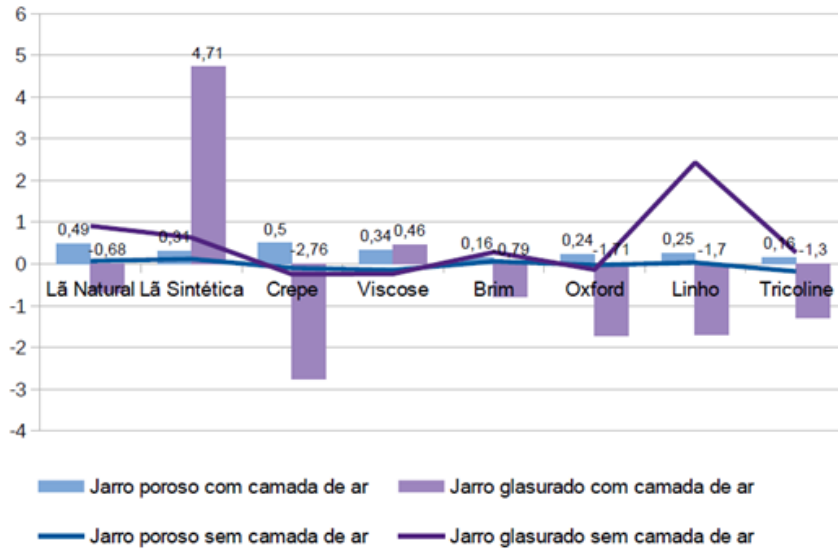
Aqui cabem duas observações.

Primeiro, que a cor aparente dos objetos significa a refletância à luz visível, e que esta corresponde a apenas metade da radiação solar – a outra metade, composta principalmente de infravermelho, não é sensível à visão, e sabe-se que na grande maioria, materiais porosos como os tecidos apresentam uma alta absorvância, ao redor de 95%.

Segundo, que o uso de radiação como medida de atenuação da sensação térmica, mantida a fórmula de análise utilizada neste artigo, teria resultados de apelo intuitivo se a temperatura absoluta do ar exterior fosse consideravelmente diminuída, de modo a restabelecer o fluxo térmico de dentro para fora dos jarros. Esta fica como uma recomendação para futuros estudos.

O fato observado condiz com a realidade, já que a sensação térmica sob presença de campo radiante é maior quando com tecidos escuros do que claros, e este fator pode ser decisivo.

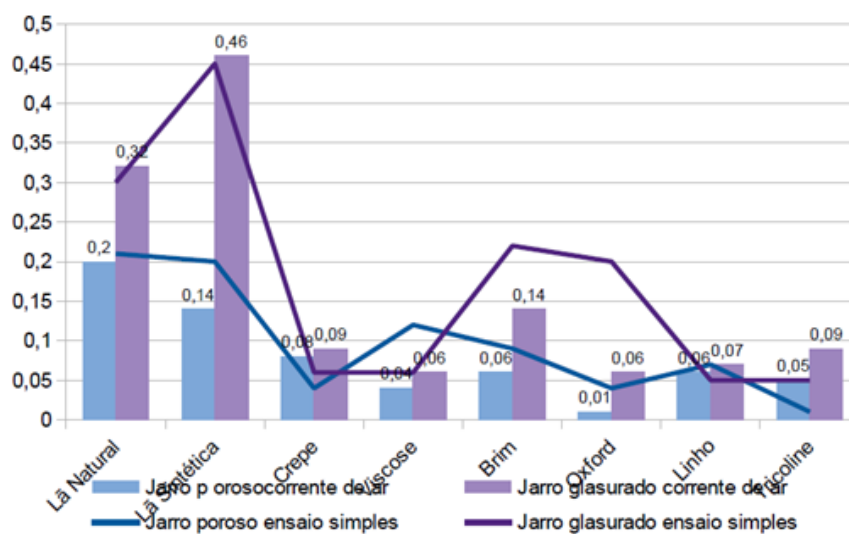
**Ensaio 04** - Resistência térmica dos tecidos: ensaio com radiação e camada de ar (m<sup>2</sup>K/W)



Fonte: os autores (2019).

### Ensaio com ventilação

**Ensaio 05** - Resistência térmica dos tecidos: ensaio com ventilação ( $m^2K/W$ )



Fonte: os autores (2019).

No ensaio com ventilação alguns tecidos (os mais finos) apresentaram resistência mais baixa do que no ensaio sem corrente de ar. Novamente, recorreremos à fórmula utilizada para explicar. A temperatura  $T_{ar}(t)$  é a mesma para todas as amostras, medida em posição afastada dos jarros. Nos experimentos anteriores, sem vento, a temperatura do ar real junto a cada jarro sofre efeito localizado do calor dispensado pelo jarro e por isto dificulta a drenagem do calor por através do tecido, atrasando o abaixamento de  $T_{água}(t)$  e produzindo uma falsa elevação da resistência térmica medida. Isto acontece tanto mais, quanto menor for a resistência térmica do tecido. A presença de ventilação promove uma melhor uniformização de  $T_{ar}(t)$ , fazendo adequadamente caírem os valores de resistência térmica. É ainda possível de se especular que o vento promova real transporte convectivo por dentro do tecido, o



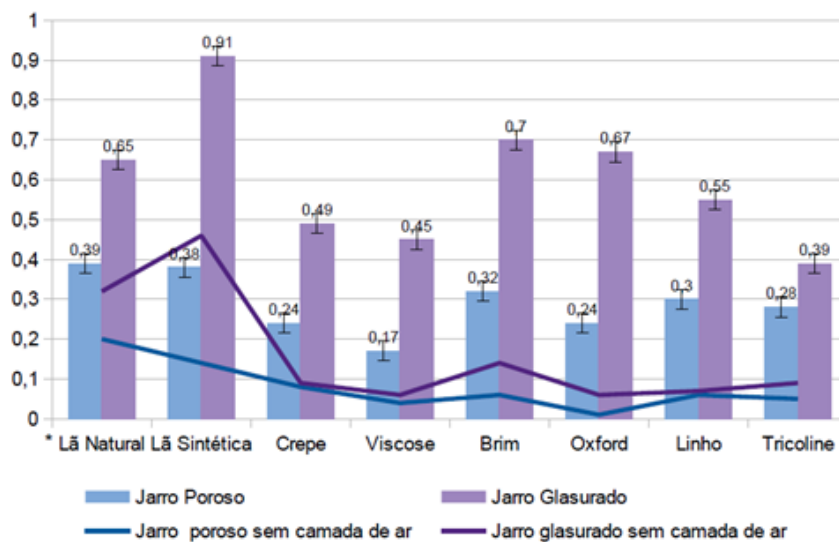
fluxo de ar penetrando a trama dos tecidos e acelera o transporte do ar em contato com o jarro para fora. Isto indica também que a real influência do vento na perda de calor é em contato com a própria pele. A viscose apresentou resistência térmica menor com a ventilação, sendo um tecido de verão e com aplicação semelhante ao crepe pode favorecer a troca de calor em um vestido ou blusa, por exemplo. O oxford teve uma perda de resistência significativa com o vento, porém deve ser levada em conta a diferença de gramatura entre ele e o brim.

Um aperfeiçoamento desejável seria a medição por termografia (filmagem na banda de infravermelho), que permitiria apurar a real temperatura superficial dos tecidos durante o experimento. Fica como outra sugestão para estudos futuros.

Os fatos registrados confirmam o esperado: a lã, sendo um tecido espesso e leve, permite proteção contra o frio, mesmo na presença de vento.

### Ensaio com ventilação e camada de ar

**Ensaio 06** - Resistência térmica dos tecidos: ensaio com ventilação e camada de ar ( $m^2K/W$ )



Fonte: os autores (2019).

Esta análise corrobora o comentário anterior, de que a ventilação se faz sentir mais sobre as amostras de menor resistência térmica. A mesma amostra, quando contendo camada de ar, mostra resistência térmica notavelmente superior a sua configuração aderida ao jarro. Ao acrescentar a ventilação, são recuperados os valores do gráfico 2 – e, curiosamente, ultrapassados – este um fato a ser ainda esclarecido.

O último fato fica como recomendação para estudos futuros.

A camada de ar entre o tecido e o protótipo exerceu maior resistência térmica também na presença de ventilação, e isto sugere que o vento não provoca expressivo movimento convectivo por dentro da camada. Em se tratando de design para roupas de frio é importante ressaltar a interferência da camada de ar na resistência térmica, independente do tecido escolhido. Com a camada de ar, a lã sintética se mostrou mais resistente do que a lã natural nesse caso, sendo assim pode ser considerada “mais quente” do que a lã natural.

### **Discussão**

Houve uma tentativa de caracterização de cada fenômeno separadamente, para testar a pertinência do protótipo de calorímetro humano. Foram levantados aspectos a aperfeiçoar:

- a. necessidade de diminuição da porosidade dos jarros não glazurados;
- b. necessidade de uma menor temperatura do ar para testar o efeito da radiação
- c. sugestão do uso de termografia
- d. esclarecimento do fenômeno de se ter medido resistência térmica maior com camada de ar com ventilação, do que sem ventilação.

Somente estes fatores já requerem consideração no trabalho de continuação do desenvolvimento deste protótipo, ainda de forma cilíndrica e sem entrar nas particularidades da forma das roupas para o corpo humano.

Há ainda outros diversos fatores a serem considerados. Basicamente, sabemos que o conforto térmico não diz respeito apenas à concentração de calor. Sabemos que o desempenho térmico do tecido, no vestuário, não é constante, pois diferentes regiões do corpo que são cobertas estão expostas a diferentes velocidades do ar no exterior, e que a camada de ar entre a pele e a roupa é formada

um tanto em consequência da anatomia e da movimentação dos membros. Cada parte do corpo vestido recebe, também, diferente densidade de radiação solar. Tudo isto requer consideração em trabalhos futuros.

## 9 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que o protótipo desenvolvido funciona, e que sua aplicação e interpretação dos dados está condicionada ao design do vestuário proposto. A possibilidade de simular e avaliar diferentes tecidos e combinar variáveis climáticas permite estudar uma infinidade de roupas e situações a que elas estariam sujeitas no dia a dia do usuário.

Itens para necessário aperfeiçoamento foram listados. O desenvolvimento imediato da pesquisa irá priorizá-los, antes de partir para a consideração de uma geometria mais detalhada e mais fiel ao corpo humano.

## REFERÊNCIAS

ABIT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECCÃO. BRASIL: CONSUMO INDUSTRIAL DE FIBRAS E FILAMENTOS - 1970 A 2019. São Paulo, 2019. Disponível em: <https://www.abit.org.br/uploads/arquivos/Consumo%20Industrial%20de%20Fibras%20e%20Filamentos%20-%201970%20a%202019.pdf>

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10591*: materiais têxteis-determinação da gramatura de superfícies têxteis. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. v. 14, n. 7.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12546*: materiais têxteis – ligamentos fundamentais de tecidos planos - terminologia. Rio de Janeiro: ABNT; 1991.

AGUIAR NETO, Pedro Pita. *Fibras têxteis*. Rio de Janeiro: SENAI-DN, 1996. v. 1.

ASHRAE Thermal Comfort Conditions. New York: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 1966. Standard 55-66.

DE DEAR, Richard J.; BRAGER, Gails S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings*, Lausanne, CH, v. 34, n. 6, p. 549-561, 2002.

ENDRUSICK, Thomas L.; STROSCHEIN, Leander A., GONZALEZ, Richard R. *U.S Military use of termal manikins in protective clothing research*. Fort Belvoir, VA: Defense Technical Information Center, 2002.

ESTUDO de mercado: fibras não-naturais: produção e comércio. Porto, Portugal: CENIT – Centro Associativo de Inteligência Têxtil, 2014. Disponível em: <http://www.portugaltexil.com/docs/agosto-2014/?wpdmdl=60602>. Acesso em: 21 out. 2018.

FAN, Jintu; CHEN, Yih Sharng. Measurement of clothing thermal insulation and moisture vapour resistance using a novel perspiring fabric thermal manikin. *Measurement Science and Technology*, Bristol, v. 13, n. 7, p. 1115-1123, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/0957-0233/13/7/320>. Acesso em: 21 out. 2018.

FANGER, Poul O. *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*. Malabar, Florida: Robert E. Krieger Publishing, 1982.

HESCHONG, Lisa. *Thermal delight in architecture*. Cambridge: MIT Press, 1979.

HOLMÉR, Ingvar. Thermal manikin history and applications. *European Journal of Applied Physiology*, Heidelberg, v. 92, n. 6, p. 614-618, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Ergonomics of the thermal environment-analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. Geneva: ISO, 2005. ISO 7730.

KOLCABA, Katherine. *Comfort theory and practice: a vision for holistic health care and research*. Nova Iorque: Springer, 2003.

MEDEIROS, Alberto. *Cálculo estrutural de tecidos planos*. São Paulo: Contêxtil, 1995.

OLGYAY, Victor. *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism-new and expanded edition*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2015.

PEZZOLO, Dinah Bueno. *Tecidos*. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2012.

SANTOS, Carla Alexandra Correia. *Desenvolvimento de metodologias para a avaliação do desempenho térmico de meias através da utilização de um manequim térmico transpirável*. 2009. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade do Porto, PT, Porto, 2009.

SLATER, Keith. Comfort properties of textiles. *Textile Progress*, Manchester, v. 9, n. 4, p. 1-70, 1977.

SLATER, Keith. The assessment of comfort. *Journal of the Textile Institute*, Abingdon, v. 77, n. 3, p. 157-171, 1986.

XAVIER, Antônio Augusto de Paula. *Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias-teoria física aliada a estudos de campo*. 2000. 251 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, SC, Florianópolis, SC, 2000.