

SOFTWARE PARA CÁLCULO DE DESCONFORTO TÉRMICO HUMANO**SOFTWARE FOR HUMAN THERMAL DISCOMFORT CALCULATION**

Arilson José de Oliveira Jr¹ Silvia Regina Lucas de Souza² Zacarias Xavier de Barros³
Ricardo Rall⁴

RESUMO

O desconforto térmico está relacionado à área de estudo de ambiência de edificações, que tem por objetivo conceder o bem-estar para pessoas, ou seja, proporcionar um estado corporal em que não há sensação de frio ou calor. Atualmente não existem aplicativos específicos para a plataforma de dispositivos móveis que forneçam um índice de desconforto térmico para humanos. Pode-se também ressaltar que, além das facilidades de uso e sua praticidade, os dispositivos móveis como celulares e *tablets* são cada vez mais utilizados pelas pessoas. Assim, este artigo teve como objetivo desenvolver um software capaz de gerar a condição térmica de uma pessoa através do método de índice de desconforto, utilizando as variáveis climáticas de temperatura do ar (*Ta*) e umidade relativa (*Ur*). O aplicativo desenvolvido foi submetido a diversas combinações de *Ta* e *Ur*, resultando em uma aplicação eficiente para análises simples.

Palavras-chave: Desconforto térmico. Computação móvel. Ambiência.

ABSTRACT

Thermal discomfort is associated to the area of ambience on buildings which aims to provide welfare for people offering body condition where there is no sensation of cold nor heat. Currently there are no specific applications for mobile device platforms which provide a thermal discomfort index for humans. It is interesting to observe that beyond easy usage as well as practicality mobile devices such as phones and tablets are increasingly being used by people. This paper aims to develop a software which can generate human thermal conditions through discomfort index method using climatic variables of air temperature (*At*) and relative humidity (*Rh*). Developed application was submitted to several combinations of *At* and *Rh*, resulting in an efficient application for simple analysis.

Keywords: Thermal discomfort. Mobile computing. Ambience.

¹Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu FCA/UNESP – Programa de Energia na Agricultura. Email: arilsonjr@outlook.com

²Professora da Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu FCA/UNESP – Departamento de Engenharia Rural - Rua José Barbosa de Barros, nº 1780 – Botucatu/SP - CEP: 18.610-307. Email: silvia.souza@fca.unesp.br

³Professora da Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu FCA/UNESP – Departamento de Engenharia Rural - Rua José Barbosa de Barros, nº 1780 – Botucatu/SP - CEP: 18.610-307. Email: zacariasxb@fca.unesp.br

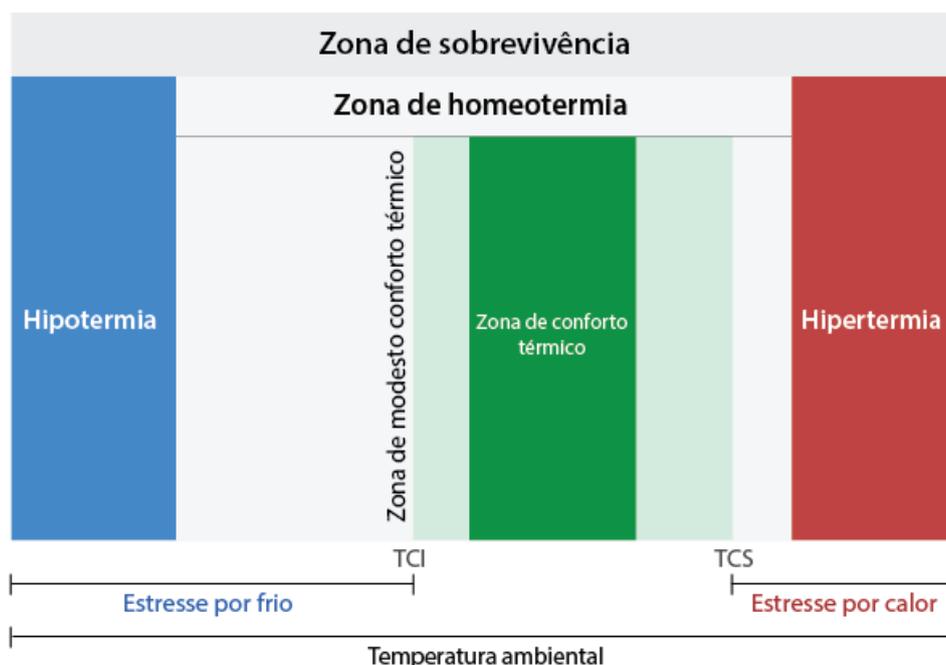
⁴Professor da Faculdade de Tecnologia de Botucatu. Av. José Ítalo Bacchi, s/n – Jd. Aeroporto – Botucatu/SP – CEP: 18606-851. Email: rrall@fatecbt.edu.br

1 INTRODUÇÃO

O desconforto ou conforto térmico, para Lamberts e Xavier (2013) é um fundamento de estudos destinados à análise e atribuições de parâmetros necessários para avaliação e criação de um ambiente térmico apropriado às atividades humanas. Uma condição térmica apropriada para um indivíduo resume-se no seu bem-estar, isto é, na sensação térmica em que não são necessários esforços fisiológicos para resfriar ou aquecer o corpo. Ainda segundo Lamberts e Xavier (2013), pode-se considerar o bem-estar como uma neutralidade térmica, que nada mais é do que uma condição em que uma pessoa não necessita nem de mais calor nem mais frio.

Utilizamos como parâmetro de medida de desconforto térmico a análise do enquadramento de uma determinada condição térmica no que chamamos de “zona de conforto térmico” (ZCT). De acordo com Frota e Schiffer (2001), a zona de conforto térmico deve ser entendida como uma indicação, um estado temporal térmico, e analisada de acordo com as condições e parâmetros especificados diante de uma realidade ambiental. A Figura 1 ilustra os limites de uma zona de conforto térmico.

Figura 1 - Zona de conforto térmico



Dentro da zona de sobrevivência, podemos observar os limites de temperatura para a sobrevivência de um ser humano. Conforme a Figura 1, estes limites estão definidos em hipotermia e hipertermia, onde, de acordo com o Programa de Pós-graduação em Ensino de Física (2014), a hipotermia é a queda abaixo de 35 °C da temperatura corporal e a hipertermia é a elevação acentuada da temperatura do corpo.

Nos extremos horizontais da zona de modesto conforto térmico, encontram-se o início das chamadas temperaturas críticas, classificadas como inferior e superior. A zona de modesto conforto térmico é onde o indivíduo começa sentir um certo desconforto, seja pelo frio ou calor. A temperatura crítica inferior (TCI) inicia-se no extremo esquerdo da zona de modesto conforto térmico e se estende até o estado de hipotermia. Quando um indivíduo se encontra em estado de temperatura crítica inferior, seus mecanismos termorreguladores são acionados para auxiliá-lo na retenção e produção de calor corporal, já que nessas condições há uma perda considerável de calor para o ambiente. Já a temperatura crítica superior (TCS) inicia-se no extremo direito da zona de modesto conforto térmico e estende-se até o estado de hipertermia. Quando um indivíduo se encontra na área de temperatura crítica superior os mecanismos termorreguladores são acionados para auxiliá-lo na dissipação do calor corporal, já que nessas condições normalmente a taxa de produção de calor metabólico aumenta. Em condições de temperatura crítica superior, pode ocorrer também o aumento da temperatura corporal (BAÊTA e SOUZA, 1997).

Por meio de métodos que comparam as condições climáticas do local de medição com valores pré-definidos de limites de área (hipotermia, TCI, zona de modesto conforto térmico, zona de conforto térmico, TCS e hipertermia), é possível indicar se uma pessoa está em estresse térmico pelo frio ou calor, se está em desconforto térmico pelo frio ou calor (zona de modesto conforto térmico) ou se está confortável. Entende-se por estresse térmico condições mais agressivas de frio ou calor (temperaturas mais elevadas) e desconforto térmico uma condição mais amena, porém ainda não confortável.

Para se obter o índice do ambiente térmico, existem diversas fórmulas que utilizam variáveis como temperatura do ar, umidade relativa, radiação, velocidade do ar, temperatura de bulbo úmido, entre outros. Neste trabalho, foi utilizado como fórmula o chamado Índice de Temperatura e Umidade, desenvolvido por Thom (1959), adaptado

por Kawamura (1965), anteriormente chamado de índice de desconforto. Nesta fórmula, são utilizados como parâmetros a temperatura do ar, umidade relativa e temperatura do ponto de orvalho, onde a temperatura do ar (T_a) é considerada em graus Célsius, medida por um termômetro; a umidade relativa (U_r), segundo Lawrence (2004), é calculada pelo quociente da divisão entre a pressão do vapor atual pela pressão saturada de vapor, multiplicados por cem, e a temperatura do ponto de orvalho (T_o), que para Frota e Schiffer (2001), é a temperatura na qual o ar se encontra saturado de umidade.

Um exemplo para compreensão da temperatura do ponto de orvalho é um ambiente a uma temperatura do ar de 22,0 °C e uma umidade relativa de 70%. Nessas condições, chega-se a uma temperatura do ponto de orvalho de 16,7 °C, ou seja, se um corpo estiver em uma temperatura igual ou inferior a 16,7 °C e, se for colocado neste ambiente, imediatamente irá ocorrer a condensação do vapor contido nele. De igual modo, se a temperatura do ar cair a menos de 16,7 °C, o vapor de água presente no ar passará do estado gasoso para líquido na forma de pequenas gotas.

Atualmente as indicações de estado térmico são geradas por meio de cálculos parcialmente manuais. A obtenção de um diagnóstico de estado térmico necessita do conhecimento de equações e métodos e da organização dos dados climatológicos para indicar uma condição térmica, além de serem complexas sem o auxílio de uma calculadora ou computador. Os cálculos para a realização do método de índice de temperatura e umidade, por exemplo, necessitam, além da realização da expressão proposta pelo método, da resolução prévia de outras variáveis como a de temperatura de ponto de orvalho. Variáveis como esta, podem mostrar-se complexas em resoluções parcialmente manuais, visto sua dependência para com outros dados a serem calculados, como a pressão de vapor saturada.

Mesmo com a utilização de ferramentas como calculadoras e computadores, que abstém o especialista ou pesquisador de um processo totalmente manual, o tempo gasto para obtenção de um índice de desconforto térmico fica aquém se comparado com um algoritmo específico implementado para uma metodologia ou método. O presente trabalho destaca sua importância por inserir na área de ambiência de edificações dos mais variados tipos, a tecnologia de informação por meio de uma ferramenta ascendente na indústria de tecnologia móvel, possibilitando o avanço da pesquisa e desenvolvimento não somente nas técnicas e metodologias referentes à área de

desconforto térmico humano, mas também na multidisciplinariedade entre os estudos meteorológicos, de arquitetura e urbanismo e de sistemas computacionais.

Todos os processos aplicados para adquirir um estado térmico, seja esse de estresse, desconforto ou conforto, mediante condições climáticas de um ambiente, são atualmente extremamente importantes no que diz respeito às atividades do homem. Considerando que uma pessoa em estado térmico confortável atinge um grau de produção e disposição excelente. Estudos científicos como o de Wargocki (2005), citado por Batiz et al. (2009) evidenciam que, por exemplo, num ambiente acadêmico, o aumento da temperatura e a qualidade do ar reduzem a *performance* do aprendizado. Sinais fisiológicos como dor de cabeça, fadiga, descoordenação motora, perda de memória etc. surgem frequentemente em estados não confortáveis (BATIZ et al, 2009). Além da perda de desempenho nas mais variadas atividades que o ser humano exerce, a qualidade do ar e, conseqüentemente, o estado térmico de um ambiente interferem diretamente na saúde do homem (FELIX et al, 2010).

Assim, este artigo teve como objetivo desenvolver um *software* para a plataforma de dispositivos móveis, como telefones inteligentes (do inglês, *smartphones*) e *tablets*, que realize o cálculo de desconforto térmico humano momentâneo, aplicando o método de temperatura e umidade descrito por Thom (1959), adaptado por Kawamura (1965). O aplicativo deve indicar a condição térmica de uma pessoa nas mais variadas combinações de temperatura e umidade, orientando-a se a mesma está em estresse, desconforto ou conforto térmico.

2 METODOLOGIA

2.1. Dados climatológicos

2.1.1 Obtenção de dados

A fim de validar o funcionamento do *software*, os dados climatológicos foram obtidos no campus da Faculdade de Ciência Agrônômicas de Botucatu/SP – UNESP, por meio de um termo-higrômetro digital Instrutherm HT-600, instrumento que coleta e informa a temperatura (°C) e umidade relativa (%) do local onde está posicionado. O

sensor possui uma precisão de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ para medição de temperatura e $\pm 5\%$ para umidade relativa.

Foi coletada uma amostra de cada ambiente em momentos aleatórios dos seguintes locais:

1. Sala de reunião;
2. Laboratório;
3. Teatro;
4. Área aberta.

Após a coleta das variáveis, houve a simulação de quatro dados aproximados para cada variável coletada em campo, buscando mostrar a diferença da condição térmica mostrada pelo *software* em possíveis variações de temperatura e umidade relativa.

2.1.2 Inserção de dados no software

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram inseridos no *software* manualmente utilizando os valores informados no termo-higrômetro especificado anteriormente. Tais variáveis são obrigatórias para obter um índice que expressa a condição térmica momentânea de um determinado local.

2.2. Índice de desconforto

O método utilizado para obtenção do índice de desconforto térmico baseou-se na fórmula descrita por Thom (1959), adaptado por Kawamura (1965) e citada por Ono e Kawamura (1991). Sendo T_a a temperatura do ar em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$) e T_o a temperatura de orvalho também em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

$$ID = 0.99 \times Ta + 0.36 \times To + 41,5 \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

ID = Índice de desconforto

A temperatura de orvalho (T_o) foi estimada por meio da equação descrita por Alduchov e Eskridge (1996), citada em Lawrence (2004).

Esta equação, segundo Lawrence, é baseada numa evolução dada por Alduchov e Eskridge da expressão conhecida como *Magnus formula*. A temperatura de orvalho baseou-se em medidas de pressão de vapor contemporâneo onde obtém-se:

$$T_o = \frac{B_1 \times \left[\text{Ln}\left(\frac{Ur}{100}\right) + \left(\frac{A_1 \times Ta}{B_1 + Ta}\right) \right]}{A_1 - \text{Ln}\left(\frac{Ur}{100}\right) - \left(\frac{A_1 \times Ta}{B_1 + Ta}\right)} \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

$$A_1 = 17,625$$

$$B_1 = 243,04$$

$$\text{Ln} = \log_{2,718}$$

O valor percentual de umidade relativa (Ur) é calculado, de acordo com Lawrence (2004), pelo quociente da pressão do vapor atual (e) pela pressão saturada de vapor (e_s), multiplicados por cem.

$$Ur = 100 \times \left(\frac{e}{e_s}\right) \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:

e = pressão atual de vapor

e_s = pressão saturada de vapor

A pressão saturada de vapor (e_s), segundo Van Lier (2014), calcula-se utilizando um parâmetro E equivalente a 0,6108 para resultados em kilopascal (kPa) e a temperatura ambiente (T_a) em graus Celsius °C.

$$e_s = E \times 10^{\left(\frac{7,5 \times Ta}{237,3 + Ta}\right)} \quad \text{Eq. (4)}$$

2.3. Relação com as condições de conforto térmico

Mediante o valor obtido como índice de desconforto térmico (*ID*), foi atribuído a condição térmica por meio da tabela de valores (Tabela 1) descrita por Santos e Melo (2010).

Tabela 1 - Relação com as condições de conforto térmico

Intervalos	Condição
$ID > 80$	Estresse devido ao calor
$ID \leq 80$ e $ID \geq 75$	Desconfortável devido ao calor
$ID < 75$ e $ID > 60$	Confortável
$ID \leq 60$ e $ID \geq 55$	Desconfortável devido ao frio
$ID < 55$	Estresse devido ao frio

2.4. Desenvolvimento do aplicativo

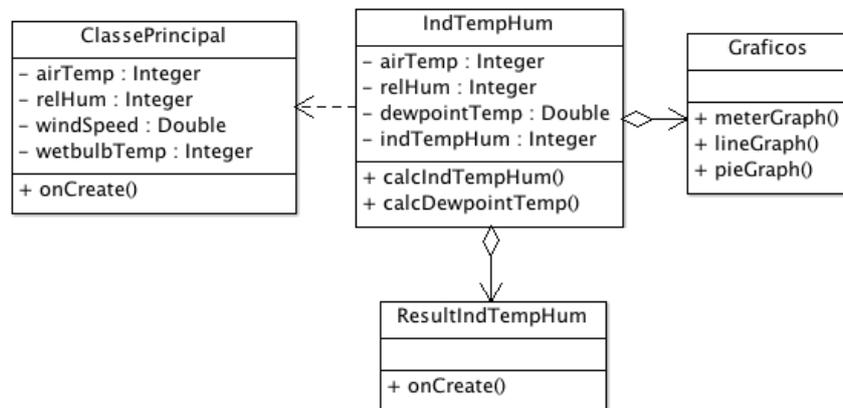
O aplicativo foi desenvolvido baseado nos padrões estabelecidos por Google (2014) para o sistema operacional Android. Toda estrutura de códigos foi elaborada através do ambiente de desenvolvimento Android Studio v0.3.7 juntamente com o Android *Software Development Kit* (SDK). Como base de desenvolvimento, foram utilizadas técnicas e padrões de programação orientada a objetos, conforme Sierra e Bates (2005), adotando-se Java como linguagem de programação.

3 RESULTADOS

3.1. Estrutura do *software*

A Figura 2 ilustra como foram criadas e organizadas as classes do aplicativo, bem como seus relacionamentos. Por meio da figura abaixo, observa-se o Diagrama de Classes que, de acordo com Boock, Rumbaugh e Jacobson (1999), exhibe conjunto de classes, relacionamentos, interfaces e colaborações.

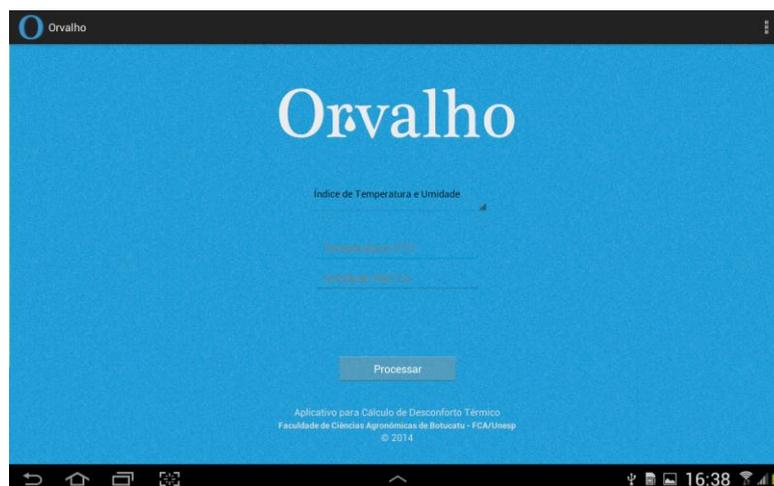
Figura 2 – Diagrama de classes do aplicativo



3.2. Tela inicial do aplicativo

Na Figura 3, pode-se observar a tela inicial do aplicativo, nomeado de *Orvalho*. Nesta devem ser inseridos pelo usuário os valores referentes à temperatura do ar (T_a) e umidade relativa (U_r). Embora a metodologia de cálculo da umidade relativa tenha sido especificada na Eq.(3), a maioria dos sensores utilizados para medir esse tipo de variável fornece o valor já em percentual, como foi o caso do termo-higrômetro usado neste trabalho.

Figura 3 - Tela inicial do aplicativo



Após a inserção dos valores de temperatura e umidade relativa, o usuário deverá clicar no botão Processar. Em seguida, são realizados os cálculos para obtenção do índice de desconforto térmico.

3.3. Tela de resultados

Quando processado os dados das variáveis climáticas e realizado o cálculo do ID são exibidos, em uma segunda tela, a temperatura do ar na qual o índice baseou-se, a umidade relativa e o índice de desconforto. Na Figura 4, é exibida a forma como os resultados são apresentados.

Figura 4 – Tela de resultados do aplicativo



Conforme os dados climáticos submetidos ao cálculo do ID, são informadas as condições de estresse devido ao calor ou frio, desconforto devido ao calor ou frio ou confortável como mostra a figura acima.

3.4. Teste com variáveis climáticas reais e simuladas

Após a marcação das variáveis obtidas e das geradas por aproximação, estas foram inseridas uma a uma no *software Orvalho*. A Tabela 2 mostra os resultados da condição térmica gerada pelo aplicativo.

Tabela 2 - Teste de software com dados reais e simulados

Local	Ta (°C)	Ur (%)	ID	Condição
Sala de reunião	25	70	73,14	Confortável
S/L	23	70	70,47	Confortável
S/L	25	65	72,72	Confortável
S/L	27	70	75,81	Desconfortável devido ao calor
S/L	25	75	73,54	Confortável
Laboratório	26	71	74,56	Confortável
S/L	24	71	71,89	Confortável
S/L	26	66	74,14	Confortável
S/L	28	71	77,23	Desconfortável devido ao calor
S/L	26	76	74,96	Confortável
Teatro	26	72	74,64	Confortável
S/L	24	72	71,97	Confortável
S/L	26	67	74,22	Confortável
S/L	28	72	77,31	Desconfortável devido ao calor
S/L	26	77	75,04	Desconfortável devido ao calor
Área aberta	25	64	72,63	Confortável
S/L	23	64	69,97	Confortável
S/L	25	59	72,17	Confortável
S/L	27	64	75,29	Desconfortável devido ao calor
S/L	25	69	73,06	Confortável

Onde:(S/L): Sem local (dados simulados).

Por meio dos resultados, é possível realizar uma análise simples de condições térmicas em qualquer ambiente. O aplicativo oferece de forma simples uma maneira de se obter condições térmicas utilizando apenas duas variáveis climáticas, temperatura e umidade relativa do ar. Usuários portadores de instrumentos específicos para captura de tais dados podem facilmente analisar essas condições.

4 CONCLUSÕES

O objetivo proposto de desenvolver um *software* para análise de desconforto térmico através do método de temperatura e umidade foi alcançado. O *software* foi implementado e testado seguindo sistematicamente o método descrito por Thom (1959), adaptado por Kawamura (1965).

A principal contribuição deste tipo de *software* cabe às análises simples momentâneas de condições térmicas em ambientes de repouso e/ou locais de trabalho do homem, como por exemplo escritórios, residências, apartamentos, salas de aula,

estúdios e auditórios. Desta forma, este trabalho contribui especificamente em pequenas análises de condição térmica, proporcionando até mesmo mudanças nos meios de isolamento térmica, aquecimento e resfriamento através das informações geradas pelo *software*.

Como forma de continuidade de pesquisa, pretende-se evoluir o aplicativo agregando outros métodos de avaliação de desconforto térmico, a fim de obter um diagnóstico mais detalhado dentre os mais variados ambientes e condições térmicas existentes. Também pretende-se utilizar outros parâmetros além da temperatura do ar e umidade relativa, como por exemplo, velocidade do ar e radiação solar.

REFERÊNCIAS

ALDUCHOV, O. A.; ESKRIDGE R. E. Improved Magnus form approximation of saturation vapor pressure. **J. Appl. Meteor.**, 35, 601–609, 1996.

BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. *Ambiência em edificações Rurais: conforto térmico animal*. Viçosa: UFV, 1997. 246 p.

BATIZ, E. C. et al. Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre influência na atenção e memória. **Produção**, [s.l], v. 19, n. 3, p.477-588, dez. 2009.

BOOCK, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. **UML, guia do usuário**. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda., 1999.

FELIX, V. B. et al. Avaliação de conforto térmico em ambientes cirúrgicos utilizando método de Fanger e temperaturas equivalentes **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p.69-78, dez. 2010.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico: arquitetura e urbanismo**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GOOGLE. **Developer Reference**. 2013. Disponível em: <<http://developer.android.com/reference/>>. Acesso em: 1 abr. 2014.

KAWAMURA, T. Distribution of discomfort index in Japan in summer season. **J Meteorol. Res.**, 17:460-466, 1965.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P. **Conforto Térmico e Stress Térmico**. Disponível em: <<http://dec.ufms.br/lade/docs/cft/ap-labee.pdf>>. Acesso em: 1 abr. 2014.

LAWRENCE, M. G. The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air. **American Meteorological Society**, [s.l], p.225-233, fev. 2005.

ONO, H.S.P.; KAWAMURA, T. Sensible climates in monsoon Asia.
Int.J.Biometeorol., Ibaraki, v. 35, p.39-47, jan. 1991.

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA. EFEITOS DA
TEMPERATURA NO CORPO HUMANO. 2014. Disponível em:
<http://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/efeitos_temp.htm>. Acesso em: 1 abr. 2014.

SANTOS, W. R. T.; MELO, M. L. D. **Índices de Conforto e Desconforto Térmico Humano segundo os Cenários Climáticos Do IPCC**. 2010. Disponível em:
<http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/446_95127.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2013.

SIERRA, K.; BATES, B. **Head First Java**. 2. ed. [s.l]: O'reilly Media, 2005. 720 p.