

**MANUAL PRÁTICO
DE AVALIAÇÃO E
CONTROLE DE CALOR**

— PPRA —

1ª edição — 2000
2ª edição — 2004
3ª edição — 2010
4ª edição — 2012
5ª edição — 2013
6ª edição — 2014
7ª edição — 2016

TUFFI MESSIAS SALIBA

Engenheiro Mecânico, pós-graduado em Engenharia de Segurança e Mestre em meio ambiente. Advogado. Ex-pesquisador da Fundacentro-MG. Ex-professor dos cursos de Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho. Diretor técnico da ASTEC — Assessoria e Consultoria em Segurança e Higiene do Trabalho.

MANUAL PRÁTICO DE AVALIAÇÃO E CONTROLE DE CALOR

— PPRA —

7^a edição





EDITORA LTDA.

© Todos os direitos reservados

Rua Jaguaribe, 571
CEP 01224-003
São Paulo, SP — Brasil
Fone (11) 2167-1101
www.ltr.com.br
Janeiro, 2016

Produção Gráfica e Editoração Eletrônica: RLUX
Projeto de capa: FÁBIO GIGLIO
Impressão: ORGRAFIC

Versão impressa — LTr 5406.7 — ISBN 978-85-361-8672-6
Versão digital — LTr 8862.6 — ISBN 978-85-361-8703-7

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Saliba, Tuffi Messias

Manual prático de avaliação e controle de calor :
PPRA / Tuffi Messias Saliba — 7. ed. — São Paulo :
LTr, 2016.

Bibliografia.

1. Calor — Avaliação 2. Calor — Controle
3. Medicina do trabalho 4. Segurança do trabalho
Título.

15-10665

CDD-616.9803

Índice para catálogo sistemático:

1. Calor : Avaliação : Medicina do trabalho
616.9803
2. Calor : Controle : Medicina do trabalho
616.9803

Agradecimentos

Márcia Angelim Chaves Corrêa —
Engenheira Química e de Segurança do Trabalho

Lênio Sérgio Amaral —
Engenheiro de Segurança do Trabalho

Maria Beatriz de Freitas Lanza —
Engenheira de Segurança do Trabalho e Mestre em Administração

SUMÁRIO

PARTE 1

<i>Conceitos Básicos</i>	9
I — Trocas térmicas entre o organismo e o ambiente.....	9
II — Fatores que influenciam nas trocas térmicas entre o ambiente e o organismo	11
III — Equilíbrio homeotérmico	13
IV — Efeitos do calor no organismo.....	14
V — Índices de avaliação de calor	15

PARTE 2

<i>Instrumentos de Medição</i>	18
I — Escalas termométricas.....	18
II — Termômetro de bulbo seco (Tbs).....	19
III — Termômetro de globo (Tg)	19
IV — Termômetro de bulbo úmido natural (Tbn).....	20
V — Psicrômetro	21
VI — Anemômetro	22

PARTE 3

<i>Avaliação de calor para fins de conforto</i>	25
I — Avaliação de calor para fins de conforto.....	25
II — Temperatura efetiva corrigida (Tec)	29

PARTE 4

<i>Avaliação ocupacional de calor</i>	31
I — Índice de Sobrecarga Térmica — IST — Critério de Belding e Hatch....	31
II — Índice termômetro de globo úmido	36

III — Índice de bulbo úmido termômetro de globo — IBUTG	37
3.1. Instrumentos de medição	38
3.2. Limites de tolerância.....	40
3.3 Critério NR-15 (Limites de Tolerância)	41
3.4. Critério da ACGIH.....	51
3.5. Procedimento de avaliação ocupacional.....	52
3.6. Avaliação de calor para caracterização de insalubridade	53
3.7. Avaliação de calor para fins de aposentadoria especial.....	57

PARTE 5

<i>Medidas de Controle</i>	58
I — Medidas Coletivas.....	58
1.1. Taxa de metabolismo.....	58
1.2. Convecção.....	59
1.3. Radiação	60
1.4. Evaporação	60
II — Medidas Administrativas/Organização do Trabalho.....	61
2.1. Treinamento.....	61
2.2. Limitação do tempo de exposição	61
2.3. Aclimação	62
III — Equipamento de Proteção Individual	63
IV — Controle Médico	63
<i>Apêndice I</i> — Modelo de laudo técnico de avaliação ocupacional de Calor	64
<i>Apêndice II</i> —Modelo de laudo técnico de avaliação de conforto térmico	67
<i>Apêndice III</i> — Modelo de laudo técnico de avaliação de calor para fins de insalubridade	69
<i>Apêndice IV</i> — Critério recomendado pela ACGIH/2011	73
<i>Apêndice V</i> — Limites de tolerância para exposição ao calor de acordo com a NR-15, Anexo 3	75
<i>Referências bibliográficas</i>	79

PARTE 1

CONCEITOS BÁSICOS

O calor é um agente presente em diversos ambientes de trabalho, tais como: siderúrgicas, indústrias de vidro e, em certas situações, até mesmo ao ar livre, já que podem ocorrer exposições superiores ao limite, dependendo das condições climáticas da região e do tipo de atividade desenvolvida.

Ao contrário de outros agentes ambientais, na avaliação do calor diversos fatores ambientais e individuais devem ser considerados; por essa razão, vários índices de avaliação de calor foram desenvolvidos correlacionando esses fatores.

Antes de entrar nos estudos dos índices de avaliação do calor, é importante explicar de forma sucinta o comportamento fisiológico do indivíduo quando está exposto ao calor.

I — TROCAS TÉRMICAS ENTRE O ORGANISMO E O AMBIENTE

Quando o trabalhador está exposto junto a uma ou várias fontes de calor, ocorrem as trocas térmicas entre o ambiente e o organismo, conforme a figura 1 abaixo:

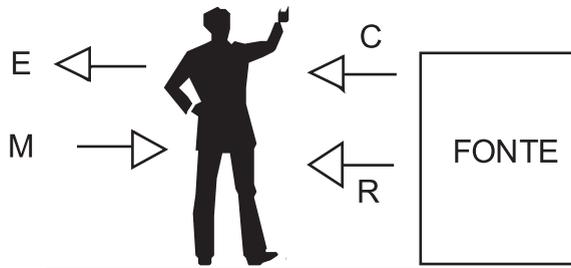


Figura 1 — Trocas térmicas entre o organismo e o ambiente

— Condução/Convecção — C

— Radiação — R

— Evaporação — E

— Metabolismo — M

A) CONDUÇÃO — (C)

É o processo de transferência de calor que ocorre quando dois corpos sólidos ou fluidos, que não estão em movimento e se encontram submetidos a diferentes temperaturas, são colocados em contato. O corpo de maior temperatura transfere o calor em excesso para o corpo de menor temperatura, até que se estabeleça um equilíbrio térmico entre eles, isto é, até as temperaturas dos corpos se igualarem.

Ex.: aquecimento de uma barra de ferro.

B) CONVECÇÃO — (C)

Esse processo de transferência de calor é idêntico ao anterior; nesse caso, porém, as trocas caloríficas se realizam através de fluido em movimento.

Desse modo, quando o trabalhador encontra-se próximo a uma fonte de calor, conforme mostra a figura, pelo mecanismo de condução/convecção esse calor é transferido para o corpo do indivíduo.

C) RADIAÇÃO — (R)

Quando a transferência de calor ocorre sem nenhum suporte material, o processo é denominado radiação. A energia radiante passa através do ar sem aquecê-lo apreciavelmente, aquecendo somente a superfície atingida. Essa energia se movimenta através do vácuo ou de outros meios, a diferentes velocidades que variam de acordo com esses meios.

Ex.: Radiação emitida pelo Sol.

Quando um trabalhador encontra-se próximo a uma fonte de calor, ele recebe calor através da transferência por radiação.

D) METABOLISMO — (M)

É o calor gerado pelo metabolismo resultante da atividade física do trabalhador. Quanto mais intensa for a atividade física, maior será o calor produzido pelo metabolismo.

E) EVAPORAÇÃO — (E)

É o processo de passagem de um líquido, a uma determinada temperatura, para a fase gasosa, dispersando o vapor para o meio ambiente. Não é necessária a diferença de temperatura para o desenvolvimento do processo. O calor transferido dessa forma é chamado calor latente, diferenciando-se, assim, daquele que se transmite através de variação de temperatura, que é chamado calor sensível. No fenômeno de evaporação, o líquido retira calor do sólido para evaporar-se, assim, é possível afirmar que o sólido perde calor para o meio ambiente por evaporação. O organismo perde calor devido ao seu resfriamento por evaporação (efeito refrigerante decorrente da evaporação do suor pela pele). Segundo a Engenheira Berenice Goelzer, a evaporação de 1g de água elimina 0,59kcal.

Ex.: Suor emanado após uma atividade física (jogar futebol).

II — FATORES QUE INFLUENCIAM NAS TROCAS TÉRMICAS ENTRE O AMBIENTE E O ORGANISMO

A complexidade do estudo do calor reside no fato de haver diversos fatores variáveis que influenciam nas trocas térmicas entre o corpo humano e o meio ambiente, definindo, dessa forma, a severidade da exposição ao calor.

Entre os inúmeros fatores que influenciam nas trocas térmicas, cinco principais devem ser considerados na quantificação da sobrecarga térmica:

- Temperatura do ar
- Umidade relativa do ar
- Velocidade do ar
- Calor radiante
- Tipo de atividade

A) TEMPERATURA DO AR

A temperatura do ar constitui fator importante na troca de calor por condução e convecção. A transferência de calor por esse mecanismo depende da diferença entre a temperatura do ar e temperatura da

pele do indivíduo. Sendo assim, se a temperatura do ar for maior que a da pele, o organismo ganhará calor por condução-convecção, e, se a temperatura do ar for menor que a da pele, o organismo perderá calor por condução-convecção. A quantidade de calor absorvido ou perdido é diretamente proporcional à diferença entre as temperaturas do ar e da pele.

B) UMIDADE RELATIVA DO AR

Este parâmetro influencia na troca térmica entre o organismo e o ambiente pelo mecanismo de evaporação. Desse modo, a perda de calor no organismo por evaporação dependerá da umidade relativa do ar, isto é, da quantidade de água presente numa determinada fração, espaço de ar. Quanto maior a umidade relativa do ar menor a perda de calor pelo mecanismo da evaporação.

Se a umidade relativa do ar for de 0 % (zero por cento), haverá condição para o organismo perder 600 kcal/h pela evaporação do suor (WELLS ASTETE, 1989).

C) VELOCIDADE DO AR

A velocidade do ar no ambiente pode alterar as trocas, tanto na condução e convecção como na evaporação.

Quando houver um aumento da velocidade do ar no ambiente, haverá aceleração da troca de camadas de ar mais próximas ao corpo, aumentando o fluxo de calor entre este e o ar. Se a velocidade do ar é maior, há uma substituição mais rápida das camadas de ar mais saturadas com água por outras menos saturadas, favorecendo então a evaporação.

É importante verificar o sentido da transmissão de calor, pois o aumento de velocidade do ar poderá favorecer ou desfavorecer o ganho de calor pelo organismo, caso o gradiente de temperatura seja positivo ou negativo. Assim, se a temperatura do ar for menor que a do corpo, o aumento da velocidade do ar favorecerá o aumento da perda de calor do corpo para o meio. Caso a temperatura do ar seja maior que a do corpo, este ganhará mais calor com o aumento da velocidade do ar.

No caso da evaporação, o aumento da velocidade do ar sempre irá favorecê-la.

D) CALOR RADIANTE

Quando um indivíduo se encontra em presença de fontes apreciáveis de calor radiante, o organismo absorve calor pelo mecanismo de radiação. Caso não haja fontes de calor radiante ou se estas são controladas, o organismo humano poderá perder calor pelo mesmo mecanismo.

E) TIPO DE ATIVIDADE

Quanto mais intensa for a atividade física exercida pelo indivíduo, maior será o calor produzido pelo metabolismo, constituindo, portanto, parte do calor total ganho pelo organismo.

III — EQUILÍBRIO HOMEOTÉRMICO

Os mecanismos de termorregulação do organismo têm como finalidade manter a temperatura interna do corpo constante, e é evidente que há um equilíbrio entre a quantidade de calor gerado no corpo e sua transmissão para o meio ambiente. A equação que descreve o estado de equilíbrio se denomina balanço térmico:

$$M \pm C \pm R - E = S$$

Onde:

M — calor produzido pelo *metabolismo*

C — calor ganho ou perdido por *condução* — *convecção*

R — calor ganho ou perdido por *radiação*

E — calor perdido por *evaporação*

S — calor acumulado no organismo (*sobrecarga térmica*).

O organismo se encontrará em equilíbrio térmico quando **S** for igual a zero.

Vale ressaltar que a perda por evaporação tem limitações fisiológicas. Essa limitação decorre da capacidade de funcionamento das glândulas sudoríparas. É aceito pelos fisiologistas a produção máxima de suor em torno de 1,0 litros por hora para trabalhadores saudáveis e normais (FUNDACETRO, 1973).

IV — EFEITOS DO CALOR NO ORGANISMO

Quando o calor cedido pelo organismo ao meio ambiente é inferior ao recebido ou produzido pelo metabolismo total (metabolismo basal + metabolismo de trabalho), o organismo tende a aumentar sua temperatura. Para evitar esta hipertermia (aumento da temperatura interna do corpo), várias reações de adaptação do organismo podem ser verificadas: a vasodilatação periférica, que tem a finalidade de aumentar a circulação sanguínea na superfície do corpo, por intermédio da qual se fazem as trocas de calor com o ambiente; a ativação das glândulas sudoríparas (sudorese), que é o aumento do intercâmbio de calor através da transformação do suor de estado líquido em vapor. Caso a vasodilatação periférica e a sudorese não sejam suficientes para manter a temperatura do corpo em torno de 37°C, haverá consequências para o organismo, as quais podem se manifestar das seguintes formas:

A) Exaustão do calor: Com a dilatação dos vasos sanguíneos em resposta ao calor, há uma insuficiência do suprimento de sangue do córtex cerebral, resultando em queda da pressão arterial.

B) Desidratação: A desidratação provoca, principalmente, a redução do volume de sangue, promovendo a exaustão do calor, porém, em casos extremos, produz distúrbios na função celular, provocando até a deterioração do organismo, insuficiência muscular, redução da secreção (especialmente das glândulas salivares), perda de apetite, entre outros (WELLS ASTETE, 1993).

C) Câimbras de calor: Na sudorese há perda de água e sais minerais, principalmente cloreto de sódio. Com a redução dessa substância no organismo, podem ocorrer espasmos musculares e câimbras. A câimbra, por causa do calor, aparece após sudorese intensa como resultado do trabalho físico prolongado. Trata-se de dores agudas nas extremidades e músculos abdominais, embora quase não aumente a temperatura corporal. Afeta, principalmente, os trabalhadores não climatizados (OIT, 1989, p. 42.9).

D) Edema de calor: Em pessoas não climatizadas expostas a um ambiente quente, pode aparecer edema leve, tais como inchaço das mãos e dos pés. Geralmente afeta mais as mulheres e desaparece com a aclimação. Os sintomas desaparecem em poucas horas, quando as pessoas se afastam para um local fresco (OIT, 1989, p. 42.9).

E) Choque térmico: Ocorre quando a temperatura do núcleo do corpo atinge determinado nível, colocando em risco algum tecido vital que permanece em contínuo funcionamento. É por causa de um distúrbio no mecanismo termorregulador que se torna impossível manter um adequado equilíbrio entre o indivíduo e o meio (WELLS ASTETE, 1993).

F) Exaustão por calor: É um transtorno muito comum provocado pelo calor. Resulta da desidratação grave devido à perda de muito suor. É típico em pessoas jovens e saudáveis que realizam esforço físico prolongado (esgotamento induzido pelo estresse de calor), como corredor de maratona, pessoas que praticam esportes ao ar livre, re-
crutas, entre outros. Essa enfermidade é causada pela deficiência circulatória e pela diminuição de água e sal no organismo. Pode ser considerada um estágio incipiente de insolação. A exaustão pelo calor é causada pelo esgotamento da água em razão de transpiração intensa e prolongada e da ingestão de água insuficiente.

Finalmente, cabe salientar que a American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) determina que o objetivo principal do gerenciamento da sobrecarga térmica é a prevenção da insolação, que pode ser fatal, e é o mais grave dos danos à saúde por exposição ao calor. A vítima de insolação fica, frequentemente, agitada, desorientada, confusa, delirante ou inconsciente. A temperatura do núcleo do corpo da vítima sobe mais de 40°C. Aumentos prolongados na temperatura do núcleo do corpo e exposições crônicas a altos níveis de sobrecarga térmica estão associados com doenças tais como: infertilidade temporária (em homens e mulheres), frequência cardíaca elevada, distúrbios do sono, fadiga e irritabilidade (ACGIH, 2011).

V — ÍNDICES DE AVALIAÇÃO DE CALOR

A avaliação do calor a que um indivíduo está submetido é bastante complexa, em razão da quantidade de fatores a serem considerados. O principal risco da exposição ao calor é a elevação da temperatura do núcleo do corpo a nível acima de 37,0°C (ACGIH, 2013). Todavia, na avaliação do risco, a medição da temperatura do núcleo do corpo do trabalhador é impraticável. Além disso, ainda não foi desenvolvido um método adequado para avaliação da temperatura interna do corpo para fins de exposição ocupacional ao calor. Desse modo, será necessário medir os fatores ambientais que se encontram diretamente ligados à

temperatura do corpo e a outras reações fisiológicas ao calor. Para essa avaliação, foram desenvolvidos diversos índices que relacionam as temperaturas e as respostas fisiológicas.

Como visto anteriormente, o principal risco da exposição ao calor é a elevação da temperatura do núcleo do corpo a nível acima de 37,0°C (ACGIH, 2011). Quando isso ocorre, a exposição resulta numa sobrecarga térmica. Considerando que a medição da temperatura do núcleo do corpo é impraticável durante a exposição do trabalhador ao calor, a solução é correlacionar fatores ambientais que influenciam na sobrecarga térmica (temperatura, umidade relativa do ar, calor radiante e velocidade do ar) e as respostas fisiológicas relacionadas ao metabolismo (Martinez, 1981). Assim, para quantificar esses fatores ambientais, vários índices de avaliação de calor foram desenvolvidos. Esses índices correlacionam as variáveis que influem nas trocas térmicas entre o indivíduo e o meio e, dessa forma, permitem quantificar a severidade da exposição ao calor. Entre esses índices, destacam-se: Índice de Temperatura Efetiva (TE), Índice de Temperatura Efetiva Corrigida (TEC), Índice de Sobrecarga Térmica — IST (Heat Stress Index), Índice de Termômetro de Globo Úmido (TGU) e Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG). A tabela 1 relaciona esses e os parâmetros considerados em cada um deles.

TABELA 1

Parâmetros considerados nos índices de avaliação de calor

Índice	Parâmetros considerados
Índice de Temperatura Efetiva	Temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do ar
Índice de Temperatura Efetiva Corrigida	Temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar e calor radiante
Índice de Sobrecarga Térmica	Temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar e calor radiante, calor metabólico (tipo de atividade), tempo de pausas (descanso)
Índice de Termômetro de Globo Úmido	
Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo	

Verifica-se pela tabela 1 que os Índices de Temperatura Efetiva e Temperatura Efetiva Corrigida não consideram todos os fatores tidos como fundamentais para a correta avaliação da sobrecarga térmica e, portanto, são os menos recomendados para um estudo adequado da exposição ao calor. Esses índices são adequados para avaliar conforto

térmico. A NR-17 adota o índice Temperatura Efetiva para fins de conforto nos ambientes de trabalho.

Os demais índices consideram todos os fatores que influenciam as condições de exposição ao calor e, portanto, são denominados índices de sobrecarga térmica.