

Observar na equação 7.1, que :

$$L = \varepsilon\sigma T^4 \text{ e } H = \frac{\rho c_p (T_s - T_a)}{r_{Ha}}$$

onde T_s = temperatura. superficial, T_a = temperatura. do ar, r_{Ha} = resistência à perda de calor sensível na camada limite. Ambos, T_s e r_{Ha} envolvem a temperatura superficial do animal.

7.1.1 A termorregulação

O sucesso do funcionamento dos organismos vivos depende do seu relacionamento com o ambiente externo. Há duas classes básicas de organismos : os pecilotérmicos e os homeotérmicos; os primeiros não controlam sua temperatura (ex. os artrópodes, vertebrados inferiores e os vegetais). Já os homeotérmicos mantêm sua temperatura interna relativamente constante por mecanismos fisiológicos dos quais variam de acordo com a produção e perda de calor metabólico (ex.: os pássaros e mamíferos). Neste caso a termorregulação é chamada de homeostase. Grandes variações na sua temperatura interna afetam este tipo de animal, podendo levá-lo à morte.

A figura 7.2 ilustra as variações normais entre pecilotérmicos e homeotérmicos. Estes últimos para manterem sua temperatura constante (geralmente ao redor de 34°C a 42° C) dispõem de um alto custo energético. A taxa metabólica destes organismos deve aumentar linearmente com a queda de temperatura ambiental (fig.7.2.b.), porque a queda desta depende mais trabalho para manter a temperatura interna (como veremos adiante). Acima deste limiar, entretanto, o animal pode manter-se confortável com uma taxa metabólica relativamente constante, chamada de zona de mínimo metabólico (ZNM). Acima desta ZNM, a taxa metabólica não sobe mais linearmente. É interessante notar que a extrapolação da porção linear até o zero metabólico intersecta o eixo horizontal (x) da temperatura basal (T_b) ou corporal do animal.

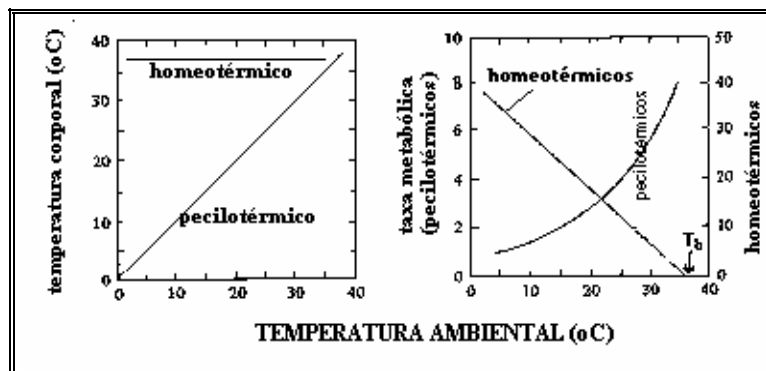


fig.7.2 O efeito da temperatura ambiente sobre a temperatura. corporal (a) e sobre a taxa metabólica (b) de produção de calor para pecilotérmicos e homeotérmicos.

A termorregulação em animais pode ser dividida em respostas comportamentais (voluntárias) e fisiológicas (involuntárias) aos estímulos externos. São as seguintes respostas comportamentais (etológicas) mais comuns:

a) MOVIMENTO: diferentemente das plantas, os animais são capazes de movimentos físicos para ambientes mais apropriados. Este local é chamado pelos etologistas de *preferendum*. Este providencia um balanço energético mais confortável dado em 7.1. Por.ex.: os peilotérmicos em um dia quente, seco e ensolarado, devem encontrar um local aonde a turbulência seja maior para maior perda de calor, o *preferendum* aí, será um ambiente úmido/ensombrado/ventoso.

b) POSTURA: um animal deve "controlar" seu tamanho e a natureza de sua superfície envolvidos com a troca de calor pela orientação apropriada do seu corpo, pelo eriçamento dos pelos e/ou penas, por estiramento do corpo e outras mudanças de postura. P.ex.: o husky siberiano, em um vento muito frio e forte, deve eriçar o seu pelo e se põe a favor do vento. Este arranjo minimiza a superfície de perda de calor via processos radiativos e turbulentos (conservando o calor metabólico dentro dos pelos, maus-condutores). Boca, focinho e orelhas são postas dentro da pelagem, também, com o mesmo significado.

c) INGESTÃO: a entrada de fluidos relativamente quentes ou frios pode afetar o balanço, equilibrando-o. P.ex.: a ingestão de água fresca por pássaros em um dia muito quente.

d) CONSTRUÇÃO DE ABRIGOS: vários animais constróem abrigos especiais contra as intempéries, incluindo tocas, ninhos até as casas dos seres humanos. O exemplo mais clássico é o abrigo dos castores.

Em adição, os homeotérmicos, em particular possuem respostas fisiológicas ao "stress" ambiental. Estes incluem mudanças no metabolismo, dilatação e contração de vasos sangüíneos, aumentar ou diminuir a pulsação cardíaca, suor, tiritar, eriçar de pelos/cabelos/penas.

7.1.2. O metabolismo.

O metabolismo refere-se ao processo dos organismos vivos por onde substâncias são transformadas nos tecidos com uma mudança no gasto energético. A quantia total de calor metabólico produzido depende do ambiente externo e também da dieta, tamanho corporal, idade e nível de atividade destes. A produção de **M** pode ser dividida em 2 componentes. a) **Mb** - taxa de metabolismo basal, eliminando a atividade muscular ou termicamente estressante, dependendo somente do tamanho, cobertura superficial e idade (aumenta com aumento de tamanho e diminui com o aumento da idade). b) a **M**: que é o calor produzido por atividade muscular.

A equação de balanço energético requer uma taxa metabólica em termos de energia fornecida à superfície do animal (este em termos de unidade de área). Os fisiologistas geralmente medem as taxas metabólicas por unidade de massa do animal. O valor da taxa de metabolismo basal (**Mb**) pode ser aproximado pela equação:

$$Mb = c \cdot m^{3/4} \quad (7.2)$$

onde **Mb** é dada em watts, m é a massa corporal do animal em kg e c é uma constante, geralmente de 3 a 5 para os homeotérmicos e cerca de 5% destes valores para os pecilotérmicos, a 20°C. A figura 7.3 mostra a relação entre a massa corporal com a taxa metabólica. Uma relação entre superfície (m²) e a massa é de cerca de : **A=0,1 m^{2/3}** (7.3). A incerteza da 7.2 para propósitos práticos, utilizaremos **Mb***. Portanto, o valor da taxa metabólica basal por unidade de área será igual a **Mb* = Mb/a**; é relativamente independentemente do tamanho do animal. Valores típicos de **Mb*** são de 30 a 50 W/m².

O metabolismo aumenta com a atividade do animal, já mencionado. Se assumirmos que a eficiência do trabalho em 30% da conversão bioquímica, os 70% restantes serão transformados em calor e o máximo que um animal homeotérmico pode fazer é aumentar o seu metabolismo basal em 10 vezes/ Se podemos estimar que a atividade do animal como uma porcentagem do máximo (pelo consumo de O₂ ou velocidade de corrigida comparando-se máximo) podemos, então, estimar a contribuição metabólica como:

$$M = Mb * \left(1 + \frac{9\alpha}{\alpha_M}\right) \quad (7.4)$$

onde α é a atividade do animal e α_M é a atividade máxima. Se **Mb*** = 50 W/m², então **M** será igual a 500 W/m².

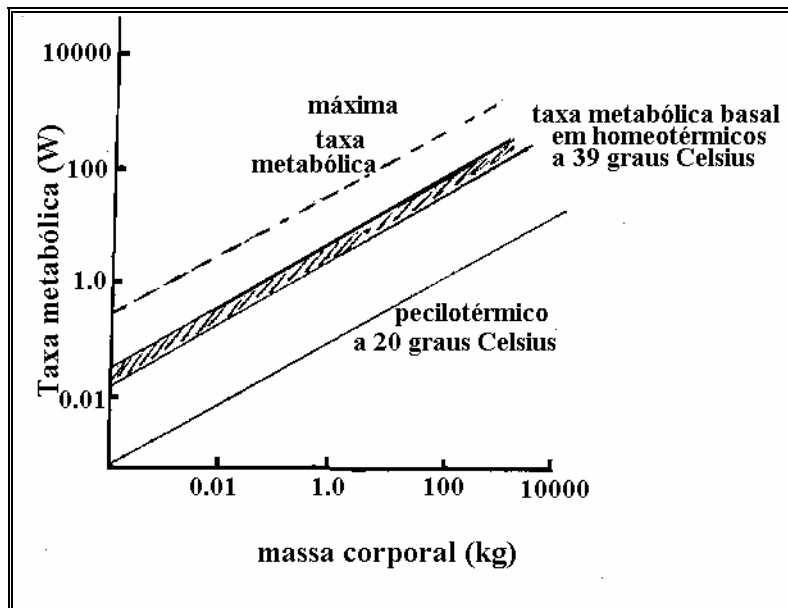


fig.7.3. Relação entre a massa corporal e a taxa metabólica basal em pecilotérmicos(a 20°C), taxa metabólica basal em homeotérmicos (a 39°C) e a máxima taxa metabólica aeróbica.

7.1.3 Troca de calor latente.

A evaporação da água pelo trato respiratório e pela superfície resulta na perda de calor latente do animal. Na respiração, o ar é inspirado em uma certa densidade vapor atmosférico e é expirada saturada a temperatura corporal (existindo exceções). Uma suposição razoável poderia ser que a perda de calor latente pela respiração está fixada como uma fração do calor latente produzida desde o aumento de produção metabólica que resulta em um maior consumo de O₂ e aumento na taxa de respiração. A taxa de evaporação respiratória por produção metabólica pode ser calculada do :

$$\frac{\lambda E_R}{M} = \frac{(\rho_{ve} - \rho_{vi})\lambda}{(\rho_{oe} - \rho_{oi})\Gamma} \quad (7.5)$$

Assumindo $\lambda=2,4$ MJ/kg, o calor latente de vaporização $\Gamma=15$ MJ/kg, o calor por kg de oxigênio consumido, $\rho_{vi}=7$ g/m³, $\rho_{oi}=280$ g/m³, $\rho_{oe}=210$ g/m³ (na alteração de concentração do O₂ de 21% para 16%).

A equação (7.5) nos fornece a relação $\lambda E_R/M = 0.08$

Alguns animais com pequenas passagens nasais, exalam o ar a temperaturas abaixo da corporal. A fig.7.4 compara o ar exalado em diferentes pássaros, o homem e o rato-canguru (*Dipodomys merriani*). O ar exalado do rato é mais frio do que o ar externo, aproximando-se do bulbo úmido. O valor apropriado para ρ_{ve} destes animais seria da densidade de vapor saturado. O efeito do esfriamento do ar está na conservação da água corporal. Um exemplo disto, podemos encontrar a taxa $\lambda E_R/M$ para o rato-canguru a 20° C. Da figura 7.4, a temperatura do ar expirado é de 18°C e $\rho_{ve}= 15$ g/m³. Se os demais valores forem os do exemplo anterior, teremos que $\lambda E_R/M = 0.02$. Isto é somente 25% da água perdida por respiração, por unidade de área, de um homem em condições similares, fazendo este tipo de rato ser bastante adaptado ao seu habitat.

A perda de calor cutâneo, nos animais, pode ser calculada como

$$E_s = \frac{\rho_{vs} - \rho_{va}}{r_{vs} + r_{vc} + r_{va}} \quad (7.6)$$

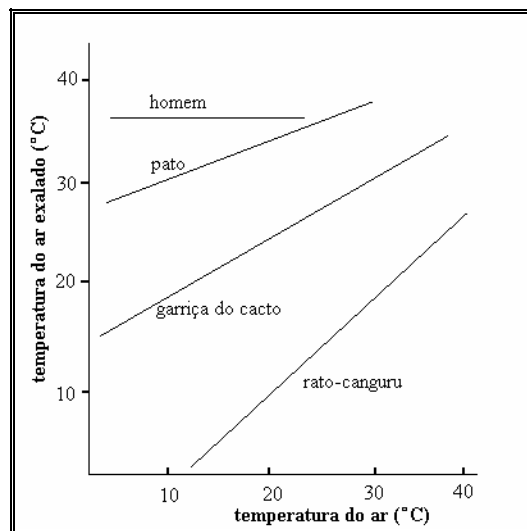


fig.7.4. Diagrama da temperatura do ar exalado contra a do ar ambiente em diversas espécies.

Para animais de pele úmida (vermes, anelídeos, caramujos, lesmas e anfíbios) r_{vs} e $r_{vc}=0$ e o controle da perda de água está restrito à camada limite. Para animais de pele seca, r_{vs} é muito maior que r_{vc} e r_{va} sendo estes desprezíveis por comparação. A tabela 7.1 nos fornece r_{vs} (em ks/m ou kilosegundo/m) de alguns animais. Notar que animais de habitats desérticos e semi-áridos tendem a possuir uma pele (um superfície) mais resistente à perda de água.

TABELA 7.1

ESPÉCIE	Nome latino	r_{vs} (ks/m)
Rato branco	(<i>Rattus</i> sp.)	3,9
Cobra caimã	(<i>Caiman</i> sp.)	5,5
Pardal	(<i>Z.leucophrys</i>)	7,6
Homem	(<i>Homo sapiens sapiens</i>)	7,7
Pintassilgo	(<i>Poephila guttata</i>)	10,2
Camelo	(<i>Camelus</i> sp.)	13,0
Rato-de-espinho	(<i>Acomys</i> sp.)	15,0
Galinha-do-chaparral	(<i>Geococcyx californianos</i>)	17,2
Codorniz pintada	(<i>Excalfactoria chinensis</i>)	20,0
Tartaruga-caixa	(<i>Terrapene</i> sp.)	33,0
Iguana	(<i>Iguana</i> sp.)	36,0
Cobra-indigo	(<i>Pituophis</i> sp.)	40,0
Avestruz	(<i>Struthio camelus</i>)	56,0
Tartaruga-do-deserto	(<i>Gopherus</i> sp.)	120,0

Para ilustrar a magnitude de λE_s , vamos encontrar a taxa de perda de calor de um camelo sobre as condições similares às da obtida pela λE_R . Assumindo $\rho_{va} = 7 \text{ g/m}^3$, $\rho_{vs} = 44 \text{ g/m}^3$, e $r_{vs} = 13\,000 \text{ s/m}$ (da tabela 7.1), então:

$$\lambda E_s = \frac{2430 \text{ J/s}(44 - 7) \text{ g/m}^3}{13000 \text{ s/m}} = 6,9 \text{ W/m}^2$$

Como $\lambda E_R/M = 0,08$ e $M = 50 \text{ W/m}^2$, a perda de calor latente pela pele é no caso 63% do total e 20% aproximadamente de M . Estes dados são típicos de homeotérmicos não estressados. Para pecilotérmicos é possível assumir $\lambda E = M$ sem introduzir erros apreciáveis.

Se o animal ficar estressado termicamente então a perda de calor latente aumenta, ativando processos de suor ou tiritação. As respostas variam bastante entre os animais, não dando para equacionar.

7.1.4 APLICAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE BALANÇO ENERGÉTICO.

7.1.5 ESPAÇO CLIMÁTICO.

7.1.6. TEMPERATURA DE CORPO NEGRO EQUIVALENTE.

7.1.7. O ESTADO TRANSIENTE.

7.2 O BALANÇO HÍDRICO.

O balanço hídrico para um animal pode ser escrito da mesma forma que o balanço de energia: $B = E + V + S$, onde E é a água excretada, V é a água evaporada e S é a água estocada. Diferentemente, entretanto, do balanço de energia, este balanço hídrico pode raramente ser analisado como uma associação de processos de estados-estacionários. As trocas de água (bebida, excretada, produzida por metabolismo na alimentação) são eventos discretizados, não contínuos. Somente a transpiração cutânea e nasal é relativamente contínua e determinam sua atividade e seu habitat. A água excretada (fezes e urina) é somente uma fração pequena do total.

MacMillan (1975) utilizou o potencial osmótico da urina dos ratos-cangurus (*D. merriani*) no deserto para o cálculo do índice de balanço hídrico. O potencial osmótico da urina decresce no verão e aumenta no inverno, indicando déficits elevados de água durante o verão. O potencial osmótico de outros roedores foi menos correlacionado a variações sazonal, devido, provavelmente, a diferenças na dieta.

7.3 PECILOTÉRMICOS.

A capacidade de adaptação dos peilotérmicos depende das condições meteorológicas, especialmente da temperatura e umidade, desde o início do seu desenvolvimento até a morte. Devido ao "stress" que estas condições lhes impõem, estes animais apresentam estágios de pausas e dormências no seu desenvolvimento ou mesmo na incubação dos ovos; pausas estas, causadas por uma relação entre fatores externos e internos. Os artrópodes possuem comumente estes tipos de dormências e pausas, sendo que diversas condições afetam estes estados de dormência, tais como fotoperiodismo, intensidade da radiação, umidade, nutrição, etc.. A temperatura é um fator preponderante, especialmente as baixas. Há também, casos de dormência nestes animais intimamente ligados ao ciclo de vida de plantas hospedeiras, que por sua vez, dependem de fatores abióticos, como fotoperiodismo e temperatura.

7.3.1 Quiescência

A Quiescência consiste em um tipo de dormência com o limite inferior (ou superior), proporcionado por algum fator externo, no qual o desenvolvimento não progride, onde o animal permanece em um estado de "suspensão", resistindo por longos períodos, dependendo da intensidade destes fatores. Muito similar a Quiescência das sementes. Quando as condições retornam ao confortável para o desenvolvimento, termina-se a Quiescência.

7.3.2 Diapausa e parapausa

Em contraste com a Quiescência, as pausas são uma parada no desenvolvimento, inibindo-o totalmente, distinguindo-se por seus mecanismos fisiológicos especiais, nos quais poderiam vir a funcionar somente em alguns estágios. Em organismos jovens, o crescimento e desenvolvimento devem ser inibidos, em adultos, por outro lado, o desenvolvimento das gônadas é o inibido. As principais bases fisiológicas das pausas são de natureza hormonal. Há distinção fundamental entre a obrigatória, denominada de diapausa e a facultativa, esta também denominada de parapausa.

Os ovos de opilião *Mitopus morio* nos fornece um exemplo de parapausa, ainda que o desenvolvimento se inicie a 20°C, se o ovo é exposto a 5°C, o embrião se desenvolve muito mais rapidamente (desenvolvimento de emergência) que o não exposto. Isto previne o opilião de se desenvolver em temperaturas excessivamente baixas. Entretanto se a onda de frio ocorrer *a posteriori*, os ovos sendo muito resistentes ao frio, não se desenvolverão.

Já o desenvolvimento do embrião de piolho (*Leptopterna dolobrata*) é um caso de dormência obrigatória ou diapausa. Os seus ovos postos no final de julho não se desenvolvem, independentemente da temperatura e outros fatores externos, somente o farão no final do verão/outono. Neste caso, como em muitos, a diapausa é induzida por

fotoperiodismo. No caso da Quiescência e parapausa, a temperatura e/ou um conjunto de fatores é/são os responsáveis.

Outras definições importantes são as de bradimetabolismo (metabolismo lento) e taquimetabolismo (metabolismo rápido) nos quais estão verdadeiramente divididos todos os animais; pois há répteis taquimetabólicos, semelhantes a mamíferos, capazes de elevar o seu metabolismo muitas vezes.

7.3.3 OS ARTRÓPODES.

O filo Arthropoda é o mais numeroso de todos os seres vivos em espécies, sendo também o que têm maior massa de todos o Reino Animal, estando dividido em três classes : INSECTA (75%, com mais de 1 milhão de espécies), CRUSTACEA (essencialmente aquática, caranguejos e camarões) e ARACHNIDA (aranhas e escorpiões). Suas funções na biosfera podem tanto auxiliar como prejudicar os seres humanos, inclusive na transmissão de inúmeras doenças.

Ainda que haja enorme diversidade de espécies, os artrópodes possuem algumas características gerais em comum, como massa pequena, sendo bons trocadores de energia, mas não a armazenam. Diferentemente das plantas, entretanto, os artrópodes não possuem uma fonte contínua de água para sustentar taxas de evaporação significativas. Esta água é obtida pela alimentação, bebida ou absorção de vapor d'água ou orvalho. A água é perdida (por evaporação) através do seu sistema respiratório, pela superfície e por excreção. Devido aos seus pequenos tamanhos, para evitar rápida dessecação, neste caso a perda de calor latente ($\downarrow \lambda E$) pela superfície é desprezível por esta ser cutinizada, i.e., impermeável.

Durante o dia, quando o animal é exposto ao Sol e está ativo, o calor produzido internamente (**M**), acrescida da radiação (R_{abs}) é excessivo e ele se aproxima rapidamente de seu limite de sobrevivência superior ou **LLS** (Limite Letal Superior). A única perda de calor eficiente é do calor sensível (**H**), 80%, nos insetos capazes de voar (aumentando a perda deste calor devido à velocidade de locomoção ou do vento).

Para manter sua temperatura corporal (T_b) dentro dos limites do conforto para suas atividades (alimentação, predação, etc.), o inseto exhibe um certo número de respostas comportamentais e em alguns casos, respostas fisiológicas. Portanto, em termos de comportamento, para evitar super-aquecimento, eles incluem penetrações em sombras, tocas, abrigos etc. Ensombrar seu próprio corpo com estruturas (asas, élitros, etc.) é um recurso comum entre Leptópteros, tais como as borboletas. Em algumas formigas e besouros (como característica morfo-anatômica) possuem longas pernas para evitar contato com a superfície quente, subindo em plantas altas (característica comportamental), para aumentar sua perda convectiva, onde a velocidade do vento é maior.

O comportamento para evitar o frio e o respectivo LLI (Limite Letal Inferior), inclui uma grande quantidade de atitudes. P.ex.: migrações das borboletas *Monarcas*, dos EUA

para o México, evitando o frio. Ou as borboletas árticas voltando suas asas para obter o máximo de energia ou pressiona-se a superfícies mornas.

A maioria dos insetos de regiões temperada procura (em manhãs de sol) baixios, enseadas, vales e fossas aquecidos, restringidos o vôo a 1 metro mais ou menos, para diminuir a perda convectiva. O próprio ato de voar pode produzir calor adicional, habilitando algumas espécies a terem sua T_b até 17°C , mais quentes que o ar (ver figura 7.7).

Há termorregulação fisiológica nos insetos particularmente em algumas espécies grandes (abelhas, mariposas, gafanhotos, libélulas, etc.). Este inseto tem uma gama restrita de temperaturas corporais dentro das quais o vôo é possível. Normalmente, quando descansando ou andando devagar, a T_b se aproxima de T_a , não sendo sempre adequada para o vôo. Estes insetos, entretanto, são habilitados na elevação de sua temperatura T_b pela rápida geração de calor metabólico dentro da musculatura das asas, não necessariamente envolvidas no seu movimento. Isto gera posteriormente calor suficiente para o vôo. O calor produzido mantém-se no tórax (especialmente em Hymenoptera) e não no abdomen e cabeça; o calor é aprisionado dentro do tórax em sacos de ar isolados dos seus lados, sendo este ar até 20°C ou 30°C acima do ar externo (fig.7.7). Nos insetos pequenos (ex. *Drosophila* sp.) não conseguem se aquecer mais do que 1°C acima do ar.

Todavia, estes mecanismos podem vir a ser um problema no vôo de grandes insetos devido ao superaquecimento. Algumas cigarras simplesmente cessam de voar e vão para a sombra. Isto é aceitável porque as cigarras só comem quando paradas. Já no caso das mariposas, estas caçam quando voam (e sua T_b pode exceder 40°C). Para evitar isto, elas bombeiam o sangue do tórax para o abdomen e cabeça, distribuindo assim, o calor acumulado pela ingestão, pelo aumento da área a perder por convecção e radiação.

A rainha abelha apresenta um fascinante modelo de balanço de calor, utilizando tanto a fisiologia como o comportamento, para aquecer sua próxima cepa (geração). A energia é extraída do açúcar do mel. O calor, produzido no tórax, é bombeado (via sangüínea) para o abdomen não isolante, no qual entra em contato direto com a cepa (pupas incubadas ou ovos). Assim a cepa é mantida entre 24°C - 34°C , enquanto que a T_a pode atingir até 3°C .

A estocagem de açúcar, através do néctar extraído das flores, é também um problema em regiões frias para as abelhas, pois a 5°C , o processo de coleta gasta 2 a 3 vezes mais energia do que a 26°C . A distância e o tipo de flor tornam-se, portanto, muito importantes na escolha deste inseto para o recolhimento do néctar, sendo capazes de calcularem exatamente se haverá lucro ou não.

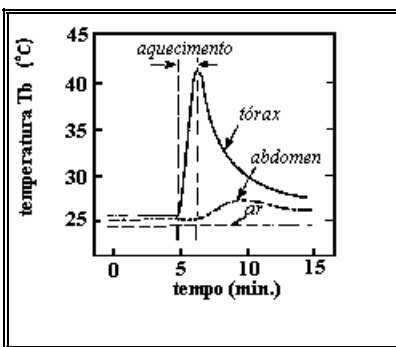


Figura 7.8. Temperaturas do ar, abdominal e torácica durante o aquecimento para o vôo de uma abelha. O aquecimento é produzido pelo movimento intenso da musculatura do tórax resultando em um aquecimento de 15.5°C superior ao ar, em 1.3 minutos. A queda posterior deve ser atribuída ao resfriamento evaporativo devido ao aumento das trocas de gases ("respiração").

Termorregulação social.

Os Hymenoptera coloniais freqüentemente apresentam uma "economia de calor social", na qual garante uma constância na temperatura "de ninho". A construção de ninhos bem isolantes, aonde mantém a troca de calor com o meio externo baixo, possui propósitos adaptativos óbvios. Contudo, a colônia de formigas do gênero *Formica (rufa)* pode aquecer suas câmaras por calor solar proveniente dos seus próprios corpos, expostos, anteriormente, ao sol. Isto se chama ectotermia. Um específico grupo de formigas faz este trabalho de "banhos-de-sol". Nas abelhas e vespas, o calor é produzido por sua própria atividade (metabólica) grupal. A *Vespa cabro*, em fase larval, aquece o seu ninho em até 6°C. As abelhas também conseguem "refrigerar" sua colmeia batendo as asas na entrada para aumentar a ventilação.

7.3.4. OS PEIXES

A maioria dos peixes observada é quase o ideal em termos de organismos pecilotérmicos, com uma relação troca de calor de 1:1. A troca de calor entre o peixe nadando abaixo da superfície e o ambiente é simplesmente o balanço entre a produção de calor metabólico e a perda por condução, convecção e radiação para a água, ou $M=H+L+G$.

A inabilidade dos peixes de não poderem elevar sua temperatura corporal está vinculado a seu método de respiração. Para sobreviver o peixe necessita extrair o O₂ dissolvido na água (em baixas quantidades) e com isto ele tem que passá-la por suas brânquias, "roubando" assim todo calor metabólico produzido pela atividade física (muscular). Mesmo se este elevar sua taxa metabólica, a taxa de água passada pelas brânquias terá que aumentar sua taxa também, extraindo todo calor adicional.

Ainda que os peixes não oscilem mais que 1 grau ao redor do ambiente, eles podem viver entre 0° a 60°C. Mas as espécies não são as mesmas, os peixes são geralmente estenotérmicos (do grego *εστεινο*=curto, estreito); qualquer oscilação maior que 10°C pode

ser fatal para muitas espécies, alguns até décimos de graus podem ser fatais. Cada espécie é, portanto, adaptada a um nicho ecológico estreito. Para evitar o "stress" térmico os peixes costumam afundar/subir em águas com temperaturas mais condizentes com seu *preferendum*.

Por outro lado, há algumas espécies de rápida locomoção (atum, marlin, peixe-espada e tubarão) os quais possuem uma significativa elevação da temperatura corporal. Estes peixes são capazes deste efeito devido a possuírem um sistema circulatório especial, exibindo o princípio da "troca de calor contracorrente". Desde que este sistema ocorre também em alguns homeotérmicos, será discutido aqui.

A característica principal do sistema de contracorrente é permitir o desacoplamento do fluxo de calor e do sangue. Normalmente, o sangue arterial aquecido dentro do corpo flui para os apêndices e regiões periféricas, sendo esfriado aí, voltando frio, quando venoso. No sistema de contracorrente as artérias e veias formam uma rede muito entrelaçada com vasos bem finos, assim o sangue venoso frio é aquecido pelo arterial por condução. Portanto, o fluxo de calor fica curto-circuitado em uma região (próxima às nadadeiras) do peixe e os apêndices e periferia continuam frios (ou levemente mais frios, comparado a um peixe sem este mecanismo e de mesmo porte). O peixe pode elevar esta região de seu corpo em mais de 20°C com isto, vide figura 7.9, para o tubarão.

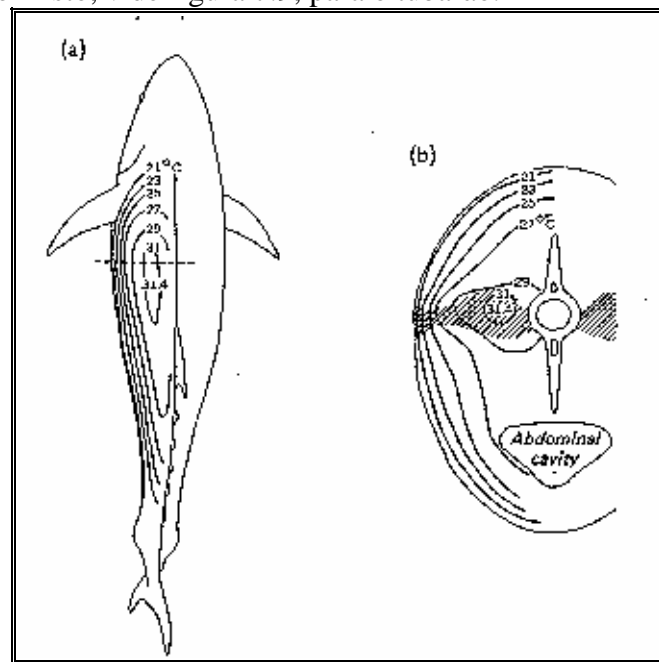


figura 7.9. vista de um tubarão em corte longitudinal (a) e transversal (b), mostrando o gradiente de temperatura interna, especialmente próximo à cavidade abdominal.

7.3.5 OS ANFÍBIOS

Os anfíbios, tais como os sapos, rãs e salamandras, comportam-se termicamente como os peixes quando na água. Todavia atuam de modo diferente em terra, pois o balanço de

energia, neste local, é bem mais complexo, devido ao fluxo contínuo de água através da pele úmida, eles correm risco enorme de dessecação. A evaporação é muito grande em um anfíbio exposto a uma atmosfera seca, quente e ventosa, podendo perder, em 24 horas, até 950% do seu peso (em comparação a uma cobra píton, cerca de 0.1%).

Portanto, os anfíbios apresentam uma termorregulação comportamental, procurando buracos e tocas, sombras, ao entardecer e amanhecer ou ficando semi-submersos. Nesta situação ele se aquece ao sol, sem desidratar. A maioria tem metabolismo bastante baixo (T_b entre 5°e 25°C) e podem permanecer inativos durante longos períodos (até meses), somente se manifestando quando as condições lhes são favoráveis.

7.3.6 OS RÉPTEIS

A taxa de calor metabólico nos répteis é também bastante baixa, embora ligeiramente superior (em alguns casos) aos demais vertebrados peilotérmicos vistos acima. Portanto, eles necessitam de fatores externos para se aquecerem. A primeira fonte é o Sol, como conseqüências disto, os banhos-de-sol são comuns. Eles também são capazes de 'ganhar' energia das superfícies aquecidas via condução (**G**), na região abdominal, como os crocodilos. Os canais principais para a perda de calor são por condução (superfícies frias) e por convecção de calor sensível (**H**). Resfriamento por evaporação não é possível através da pele (λE_s), pois eles dessecariam, devido a este fator, sua pele é bastante impermeável.

O lagarto-do-deserto nos fornece uma ilustração do comportamento típico de um réptil de climas secos. Os lagartos estão ativos quando sua T_b está entre 30°C e 40°C, ainda que alguns consigam sobreviver com $T_b = 3^\circ\text{C}$ ou 45°C . Estes animais são sensíveis ao super-aquecimento (geralmente ao redor de 45-50°C), pois não há evaporam eficientemente, de maneira que ao meio dia, o lagarto se esconde ou vai para lugares mais ventilados e/ou sombreados e úmidos. Alguns lagartos são capazes de recursos fisiológicos, tais como o aumento do batimento cardíaco, para maior dissipação de calor (via sangue) por **H** ou **G**. Algumas espécies alteram sua coloração durante o dia para absorver ou perder radiação. O resultado final é que os lagartos possuem uma T_b quase tão estável quanto os homeotérmicos. Em climas frios, eles podem entrar em um estado de inativação (torpor), protegendo-se do frio em tocas, buracos, etc.

7.4 HOMEOTÉRMICOS

7.4.1 Características gerais.

Antes de se considerar as características bioclimáticas dos diferentes homeotérmicos vamos generalizar no diagrama da figura 7.10, entre a temperatura ambiente, a temperatura corporal (T_b) e a produção de calor metabólico, adicionando-se a perda de calor por evaporação (λE) e por processos não evaporativos (**G, H, L**), com $q=0$.

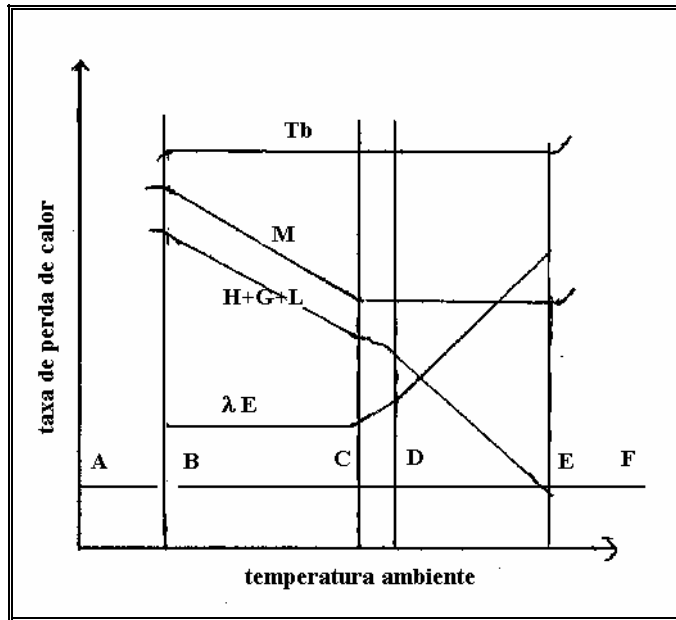


fig. 7.10. com o significado das regiões: AB=hipotermia, BE=zona de termorregulação, CD=zona de menor esforço termorregulador, CE=z. de min.metabólico, EF=hipertermia, C=temp. crítica e D=aumento da evaporação

A característica principal dos homeotérmicos (pássaros e mamíferos) é sua habilidade em manter uma temperatura interna constante em face de grandes variações ambientais. Dentro da zona de termorregulação (B-E), eles são capazes de manter sua T_b estável (ver fig.7.11, para diversos animais, notar as diferenças entre aves e mamíferos).

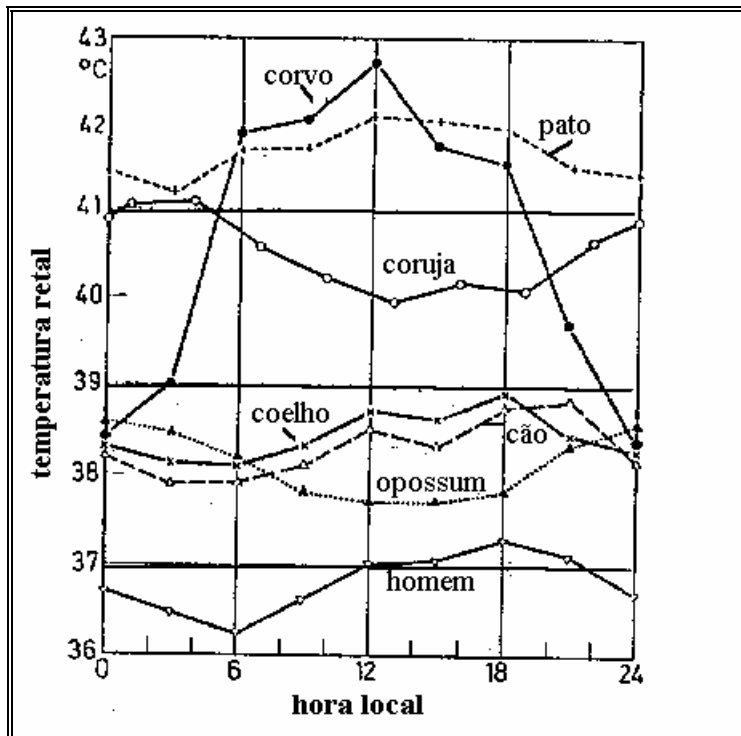


fig.7.11. Mostra a pequena variação da Tb em alguns pássaros e mamíferos, com relação à hora local.

Observar que se a temperatura interna não oscila muito (entre 39°C a 43°C, nos pássaros e 34°C a 40°C, nos mamíferos), os apêndices (braços, orelhas, patas, etc.) podem alterar significativamente estes valores. E ainda podemos distinguir os animais noturnos dos diurnos.

Dentro da variação termorregulável a Tb é mantida constante por controle de perda e ganhos de calor e os mecanismos que executam isto, são disparados pelo similar neurológico de um termostato. Quando a perda de calor for grande, o sistema dispara os mecanismos de redução desta perda. Controlando os vasos sanguíneos pela vasoconstricção, cutis mais isolada (estufamento de pelos, penas, cabelos, etc.) e mudanças de postura. Se ainda continuar a cair, pode haver estímulo do aumento de calor metabólico (via quebra do glicogênio, por ex.). O ponto no qual é ativado o aumento da produção metabólica (M) chama-se temperatura crítica (C). Se ainda assim, continuar a cair, o animal entra em estado de hipotermia e se perdurar muito, esta pode ser letal.

Se por outro lado a temperatura começar a subir, o termostato ativa os mecanismos da perda de calor (D), tais como a vaso-dilatação, aumento da evaporação, mudança de postura, aumento da salivação ($\uparrow\lambda E$) em alguns roedores e marsupiais, do suor e do ofegar. Se ainda continuar a subir, o animal entra em hipertermia, também letal se prolongada.

7.4.2 Estrutura do Sistema Nervoso Central para a Termorregulação

A região do hipotálamo é a responsável pela termorregulação, o qual será vista novamente na Biometeorologia Humana. A extirpação destas regiões em gatos mostra que estes passaram a ser pecilotérmicos.

Os termorreceptores cutâneos podem ser divididos em "frios" e "quentes" e possuem uma distribuição heterogênea que são centralizados no hipotálamo, especialmente na região anterior deste (*regio hypothalamico anterior*). A região posterior está ligada à atividade sexual. Veremos este tópico novamente adiante também.

7.4.3 Resposta à ambientes frios

Quando o inverno se inicia, o isolamento do animal passa a ser constituído de três partes: 1) uma camada de tecido gorduroso e pele se forma (isolamento interno) 2) uma camada de ar preso dentro da pelagem e/ou penas (o ar é mau condutor de calor - \uparrow isolamento externo) e 3) a camada limite fica mais distante pelo aumento da cobertura de pelos. Estes mudam a textura, pigmentação (alguns coelhos passam a ter pelos pretos ao invés de brancos), qualidade e quantidade (lobos aumentam em 50% e ratos em 10%).

A resistência à perda de calor para a 1ª camada é o aumento da vaso-constricção (tabela 7.2) da rede sanguínea periférica .

Tabela 7.2

ESPÉCIE (r_{Hb})	VASO-CONSTRICÇÃO	VASO-DILATAÇÃO
Homem	120 s/m	30 s/m
Porco	100 s/m	60 s/m
Ovelha	90 s/m	30 s/m

Em consequência destes fatores, há uma pequena elevação de T_b com o reforço de uma cobertura externa mais rígida. Este processo de pilo-ereção, aumenta a segunda camada (de ar), sendo este um aumento não-linear devido à perda por convecção (**H**) e irradiância (**L**). A 3ª camada deve aumentar, pois a camada limite é maior quanto mais rugosa for a superfície, mas está muito relacionada à velocidade do vento (se este for muito grande, ela diminui sensivelmente de largura).

No entanto, manter todas as partes isoladas não é tarefa fácil. Rabos, orelhas, patas, etc. possuem grandes áreas em relação a pequenos volumes, com grande perda de calor. Uma solução a esta problemática é a hipotermia regional (fig. 7.12), deixando estas partes caírem sua temperatura. Estes animais desenvolveram um sistema contracorrente, similar ao dos peixes nadadores, deixando a periferia somente um mínimo necessário, ainda que estas corram riscos de congelamento. Isto ocorre em caribus, gaivotas, raposas, entre diversos outros animais de climas frios e até em golfinhos e focas.

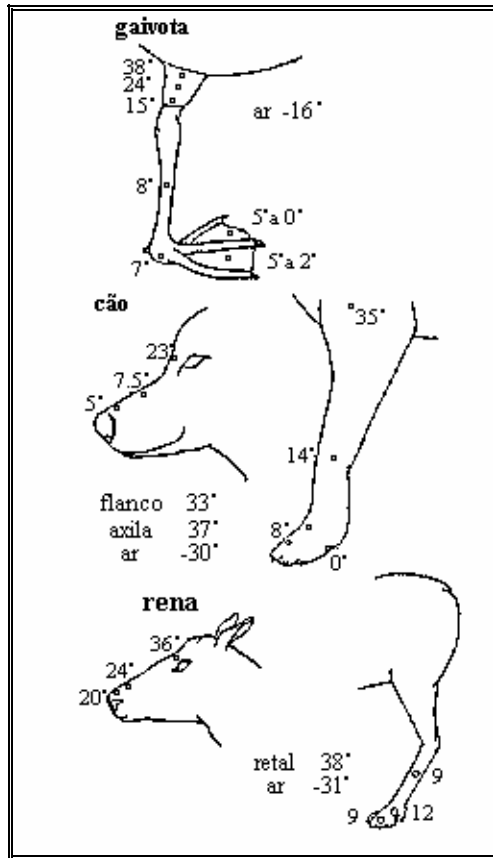


Figura 7.12. Distribuição topográfica da temperatura superficial em um cão, uma rena perna de uma gaiivota no inverno ártico (de Irving & Krog, 1955)

A importância fundamental da isolamento está demonstrada na fig.7.13 onde está mostrada a curva de produção metabólica a 2 diferentes graus de isolamento passando de T_{cri} para T'_{cri} , onde $T'_{cri} < T_{cri}$. A raposa ártica, nestas condições, passa a ter $T'_{cri} = -40^{\circ}\text{C}$.

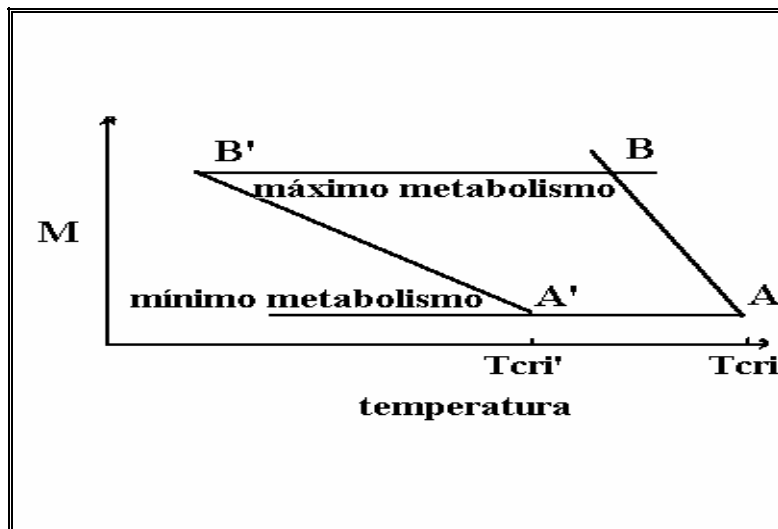


figura 7.13. Estratégias das temperaturas críticas T_{cri} e T'_{cri} .

Outro efeito para aumentar a produção de calor é o tiritar, gerado pelo aumento da atividade muscular. Muitos animais, não necessitando tiritar, preferem entrar em um estado de dormência conhecido por hibernação.

A hibernação é um método utilizado por muitas espécies de animais, especialmente os pequenos (esquilos, roedores em geral, morcegos; de 6 a 8 ordens de mamíferos) para combater o frio. A hibernação envolve o abandono voluntário da homeotermia, permitindo T_b cair sem custo energético (sem $\uparrow M$). O acúmulo de energia requerida para a hibernação é feito internamente (gorduras) e externamente (construção de abrigos com avelãs e nozes, por ex. por esquilos). A T_b pode cair 2°C a 5°C , em 1 hora, chegando entre 1°C e 10°C , o metabolismo cai até 1-5% do normal, próximo aos peclotérmicos. Os esconderijos de frutos secos (nozes) tornam-se necessários se a T_b cair abaixo de 0°C ; neste caso, o animal desperta e vai adquirir "mais energia" nestes alimentos para impedir o seu próprio congelamento.

As taxas de velocidade do despertar e hibernar estão mostrados na figura 7.14 para um morcego e para beija-flores. Estas taxas são reguladas pelas glândulas pituitárias, gônadas, tireóide e supra-renal.

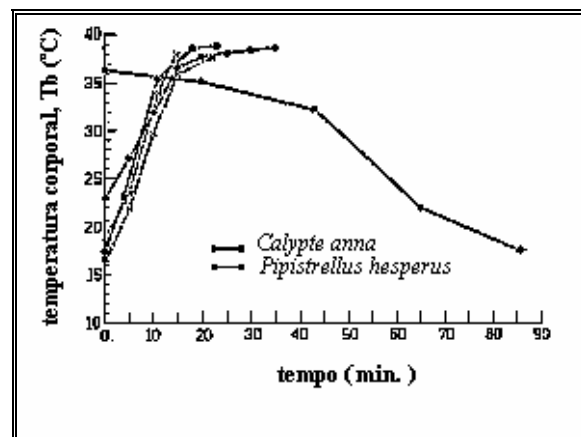


Figura 7.14. Velocidade de hibernação do morcego *Calypste anna* e do despertar de 4 beija-flores da espécie *Pipistrellus hesperus*.

O torpor (comum em aves) pode ocorrer tanto nas noites de inverno como nos dias quentes do verão. Nesta estação chama-se estivação e ocorre nas horas mais quentes do dia, em roedores, por ex., entre $26-33^\circ\text{C}$, para alguns tipos de aves domésticas. É portanto uma hibernação periódica. O torpor é um estado de dormência mais brando que a hibernação.

Os pássaros, além de migrarem e construírem ninhos "aquecidos por seus corpos", também estufam as penas até ficarem com uma forma esférica (maior volume, menor superfície) e encolhem um dos pés e a cabeça para menor dissipação do calor possível, antes de entrarem no estado de torpor.

7.4.4 Resposta à ambientes quentes.

A temperatura corporal típica de mamíferos está entre 35° e 40°C e da maioria das aves entre 39° e 44°C. Estes valores estão geralmente acima do normal de temperatura do ar, fazendo com que os mecanismos de "ganho" de calor sejam mais aperfeiçoados dos de "perda" de calor. Notar também, que devido a este fato, só 5°C acima de Tb já ocorre a hipertermia.

Uma das primeiras reações quando a temperatura do ar passa do confortável (D) é a diminuição do grau de isolamento. Vaso-dilatação, diminuição do gordura e da pelagem (esta com albedos mais elevados) são características dos animais no verão. Em termos morfo-anatômicos podemos encontrar nos trópicos, animais com grandes apêndices para maior dissipação de calor (pequeno volume, grande superfície). Por ex., o macaco africano *Gopher* sp. perde 30% do calor pela sua cauda. Elefantes, coelhos e raposas possuem grandes orelhas em climas tropicais e/ou desérticos com a mesma finalidade, além de serem bem irrigadas, (funcionam como um radiador de automóvel). ver figura 7.15, para as diferentes formas de perda de calor.

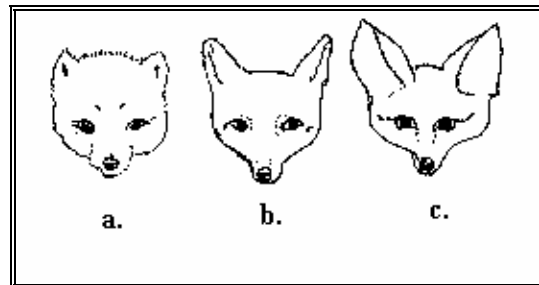


fig. 7.15 diferentes formas anatômicas das raposas. a) *Alopex lagopus* (raposa ártica), b) *Vulpes vulpes* (raposa vermelha) e c) *Megalotis zerda* (raposa do deserto).

Se $T_a > T_b$ o animal tem 2 opções : 1° ou ele estoca calor, conseqüentemente T_b sobe ou 2°, ele utiliza a água corporal para evaporação, resfriando-se.

A maioria dos homeotérmicos não tolera grandes variações da sua temperatura interna (tabela 7.3), mas os animais maiores podem estocar um pouco de calor por um curto período de tempo (como no caso dos Ungulados).

Tabela 7.3. variação da temperatura corporal diária em diversas espécies de mamíferos.

Espécie	Variação diária de T_b (°C)
<i>Giraffa camelopardalis</i> (girafa)	37.7-39.0
<i>Homo sapiens sapiens</i>	36.0-36.7
<i>Equus assinus</i> (cavalo)	36.5-39.0
<i>Camelus dromedaris</i>	34.0-40.0

<i>Oryx beisa</i>	35.7-42.1
<i>Rattus sp.</i>	35.0-36.0

Os animais pequenos não conseguem estocar calor tão bem, sem prejuízo (pois possuem pequeno volume em relação à sua superfície). Uma exceção é o esquilo-antílope, possuindo uma massa menor que 100 g, mas consegue subir sua T_b até 43°C. Quando ele atinge este valor, é "ligado" os processos evaporativos, resfriando-o, após esta queda ele "desliga" estes processos para não perder muita água, funcionando como os aparelhos de refrigeração de carros, geladeiras, etc. Portanto, ele utiliza um processo diferente do camelo como mostra a figura 7.16.

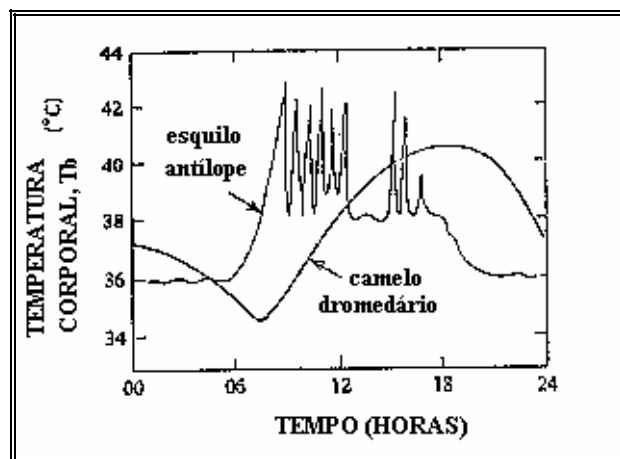


figura.7.16. Processos de controle da temperatura corporal de um dromedário e do esquilo-antílope.

Os processos evaporativos são eficientes em climas secos, mas em climas onde UR é alta e a temperatura idem, ele se mostra ineficaz, ocorrendo aí, em alguns animais a estivação já mencionada.

O suor é um processo peculiar aos mamíferos. É bastante desenvolvido no homem, cavalos e asnos e menos em animais carnívoros (felinos e canídeos), ver fig.7.17. Estes últimos ao invés de suarem, eles ofegam (aumentam λE_R via bucal). Os cães chegam a aumentar sua taxa respiratória de 20 min^{-1} para 300 min^{-1} , durante o ofegar. As ovelhas e carneiros chegam a perder 60 W/m^2 , o qual representa 80% do sua **taxa metabólica**. Os pássaros também ofegam, permitindo a língua movimentar-se rapidamente, sem aumento da taxa respiratória, com menor custo energético.

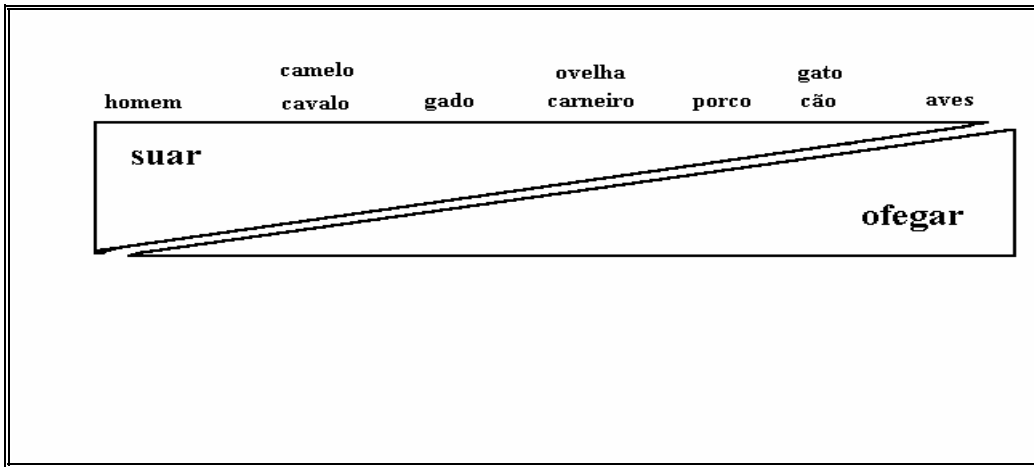


fig.7.17. Respostas à perda de calor em diferentes animais por ofegar e suar.

As respostas comportamentais dos homeotérmicos podem ser muitas, desde hábitos noturnos, migrações até hábitos similares ao do lagarto-do-deserto.

7.4.5 Efeitos fisiológicos do tempo e clima nos Ungulados.

Os Ungulados são animais com casco, incluindo ordens não filogeneticamente relacionados. A minoria está reunida na ordem Perissodactyla (com dedos ímpares), são os cavalos, zebras, antas e rinocerontes, espalhados na África, Eurásia e América tropical. A maioria está na ordem Artiodactyla (dedos pares) : porco, hipopótamo, camelo e os ruminantes (gado, búfalo, etc.). Estes são 194 espécies no total e possuem grande importância econômica, se espalhando por todos ecossistemas terrestres, sendo o estudo sobre a termorregulação bastante relevante.

Eles são animais de grande porte, alguns podendo oscilar sua T_b até em 7°C (ver tab.7.3), sendo muito bem adaptados à climas semi-áridos e desérticos, e o fazem seguindo as indicações abaixo:

- a) homeotermia variável : conseguem variar sua T_b em vários graus, como já dito acima. Isto é efetuado mesmo sem atividade muscular e na sombra.
- b) redução da produção de calor: certas partes do corpo (cérebro, por ex.) não toleram elevação de T_b , com isto, nos camelos e outros ungulados não há carótida interna, só externa, levando ao cérebro temperatura. sanguínea mais baixa por convecção. Há também, um sistema de contracorrente na região nasal, com efeito oposto do até agora mencionado, para "esfriar" a região da cabeça do animal via trato respiratório.
- c) aumento da tolerância à desidratação: esta habilidade é encontrada em alguns ungulados podendo atingir até 30% do seu peso com $T_a \geq 40^\circ\text{C}$ (camelos). Algumas gazelas suam até sua $T_b=40^\circ\text{C}$, acima disto, inicia-se o ofegar para evitar a "desidratação".

Durante a desidratação os ungulados diminuem drasticamente sua quantidade de urina e fezes e/ou estas ficam bem mais concentradas. O camelo tolera bem, inclusive uma maior concentração até do plasma sanguíneo.

A rápida reidratação também é característica dos Ungulados; os burros chegam a restaurar seu déficit hídrico em apenas 5 minutos. Os camelos chegam a beber 40-60 litros em 10 a 15 min. Suas hemáceas conseguem driblar a hemólise sem problemas devido à rápida diluição do sangue. O que não acontece aos seres humanos, pois ocorre a hemólise, neste caso, como a ingestão da droga *Ecstasy*.

Secas prolongadas são toleradas por estes animais de diferentes modos. Os camelos estocam um pouco de água nos seus tecidos. Os antílopes retiram a água comendo folhas de acácias, os oryx e gazelas comem gramíneas e lambem as folhas molhadas pelo orvalho.

d) gordura hipodérmica: no camelo está restrita à corcova. Isto permite ao animal perder calor (**H+L**), à noite, pelo resto do seu corpo. Por outro lado exhibe maior isolamento em condições de incidência solar direta. O carneiro-merino e o camelo, nestes casos, isolam-se do calor externo nesta camada hipodérmica, chegando a $T_{superf.} = 70^{\circ}\text{C}$ (camelo) e no carneiro-merino 85°C , enquanto que $T_b=40^{\circ}\text{C}$ em ambos.

7.5 BIOMETEOROLOGIA VETERINÁRIA.

7.5.1. Pecuária.

A qualidade da carne e gado de corte depende de temperaturas e UR elevadas, pois este gado é típico de regiões tropicais, p.ex. : zebú, nelore, etc.(todas variedades do *Bos indicus*. Embora estes animais, sendo bons sudores, necessitem de sal, pois o perde muito nestes climas via sudorese.

Já a produção de leite (gado leiteiro), é mais bem adaptada a climas temperados (o *Bos taurus*, ex.: vaca holandesa e três-quartos Jersey). A produção de leite é ideal entre 10°C e 20°C . Entre $20-27^{\circ}\text{C}$ decresce suavemente e com $T_a > 27^{\circ}\text{C}$, rapidamente.

Os estudos efetuados com gado confinado no inverno são importantes, especialmente no sul do Brasil. No Brasil central, a pecuária extensiva se faz mais importante, onde o clima do cerrado é o dominante.

7.5.2. Suinocultura.

Atualmente a maioria está confinada, pois os porcos são susceptíveis a hipertermia e hipotermia. Para os recém-nascidos, na Holanda, temperatura do ar é mantida a 30°C e UR a 80%. Decrescendo até $17-20^{\circ}\text{C}$ e 60-70%, quando adultos.

Os adultos sofrem muito com o calor, pois eles não são eficientes sudores e λE_R é baixo. Devido a isto os suínos chafurdam-se na lama (ou às vezes até com as próprias fezes e urina) para aumentar λE . Este é um mecanismo comportamental eficiente em muitos animais, inclusive o hipopótamo, pois não há perda de sais corporais e há a evaporação na superfície da pele, sem sudorese.

7.5.3 Avicultura.

Como as aves não suam, sua T_b tende a ser ligeiramente maior (50% é perdido pelo ofegar). Com isto, o confinamento destes animais é problemático devido a hipertermia,

bastante comum em galinheiros. Faz-se necessário, portanto, o uso de ventiladores. Os pintinhos precisam, no entanto, de $T_a = 35 \pm 1^\circ\text{C}$, quanto que e os adultos entre 18 e 24°C (ideal para o galinheiro).

Já a produção de ovos é maior na primavera, devido ao fotoperiodismo destas aves. Por isto, para aumentar a produção muitos avicultores aumentam a iluminação com períodos de luz artificial. A luz estimula a produção de gonadotropina, sendo esta a responsável pela postura dos ovos. Já a temperatura elevada diminui a produção.

Vale notar que estudos relacionando situações sinópticas ao metabolismo, à patologias e à produção de carne, leite, ovos, etc. é escasso, mesmo no exterior.

7.6 MIGRAÇÕES.

Aqui há estudos relacionando situações sinópticas às migrações e dispersão de animais voadores. Como no caso das mariposas na Europa, em 1958, que seguiram um anticiclone polar siberiano desde a Escandinávia até a França. Há também, o estudo relacionando os abibes (pequeno pássaro não migrador da Europa) a um centro de baixa pressão atmosférica, em janeiro de 1966, levando-os, através do Atlântico Norte, até a América do Norte.

No desenvolvimento das pragas de gafanhotos há relações de meso- e macro-escala sinóptica, pois estes acompanham ciclones tropicais.

Há, também, em termos de micro-escala, estudos da dispersão de afídios (pequenos insetos) até 600 m de altura por turbulência e convecção atmosféricas; sendo seu perfil

vertical dado por : $\frac{C}{C_1} = \left(\frac{z}{z_1}\right)^{-p}$ onde C = concentração de afídios, z = altura em metros e $p = 0.3$ a 2.0 (cte)

7.7 ZOOPATOLOGIA.

As doenças transmissíveis por insetos (malária, febre-amarela, tripanossomíase, etc.) dependem de condições meteorológicas úmidas e quentes, ideais para a sobrevivência destes animais.

Smart & Brown observaram que insetos preferem atacar (*Aedes aegypti* L) pessoas com pele mais quente e mais escura ou de roupa mais escura, bem como pessoas suando.

A família Muscidae (Diptera) contém 20 espécies de *Glossina*, conhecida como moscas tsé-tsé. Ambos machos e fêmeas são hematófagos. Vivem na África Oriental. Sua importância está no fato de transmitirem tripanosoma (protozoário patogênico) ao homem e animais. O *Trypanosoma gambiense* transmite a doença-do-sono, o *T.bruci* (transmitido por *G.morsitans*) é responsável pela doença de Nagana, fatal para muitos animais domésticos. Notar que estes animais são os atingidos, a fauna natural é resistente, apesar de ser picada pelas moscas (os Ungulados podem servir de hospedeiros intermediários). Excesso de umidade é fatal para a tsé-tsé, ela tolera somente UR moderada e com isto ela se desenvolve em praticamente todo o ano, exceto no mês chuvoso.

Já a praga de gafanhotos necessita de 20 mm de chuva a uma temperatura do ar da ordem de 20-33°C, para desenvolver a fase larval, a partir do ovo. A larva necessita de 62 dias a 27°C e 20 dias de 36 a 40°C.

Há influências diretas e indiretas do tempo e clima sobre muitas doenças de animais. As indiretas são as influências na composição química dos alimentos ingeridos (particularmente elementos traço e vitaminas). A carência destes ou intoxicação afetam a saúde destes, favorecendo o aparecimento de doenças.

Quanto às diretas, há dois tipos distintos, a dos animais domésticos (gado, cães, etc.) e aves domésticas. Crawford (1962) distinguiu entre doenças termorreguladoras (devido ao não suar), doenças devido a desordem metabólica (incluindo a nutricional) e doenças infecciosas (bacteriológicas, de vírus, artrópodes transmissores e parasitas (helmintos, nemátodes, etc.)). Ver tabela 7.4.