

Capítulo 9

Refrigeração de processadores

Todos os componentes eletrônicos produzem calor durante o seu funcionamento. Alguns componentes produzem mais, outros produzem menos calor. O excesso de calor é prejudicial e devemos tomar providências para controlá-lo.

Falando de uma forma mais técnica, os componentes dissipam energia térmica, resultante da passagem de corrente elétrica. A quantidade de energia é medida em Joules (J) ou Calorias (Cal). Uma caloria é a quantidade de calor necessária para produzir uma elevação de 1 grau Celsius em 1 grama de água. Em eletricidade, usamos a unidade Joule ao invés da Caloria. 1 Joule equivale a cerca de 0,24 caloria.

Potência é a quantidade de energia desenvolvida por unidade de tempo. A unidade usada para medir a potência é o Watt (W). Quando dizemos que um circuito dissipa 1 W de potência, é o mesmo dizer que gera o calor de 1 Joule a cada segundo. Portanto:

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ joule/segundo}$$

O calor gerado por um componente eletrônico precisa ser rapidamente retirado das suas proximidades, caso contrário produzirá um aumento de temperatura, o que é indesejável. Se esta providência não for tomada, o componente eletrônico pode ter sua temperatura cada vez mais elevada, chegando a níveis perigosos.

Os fabricantes sempre especificam a temperatura máxima que um componente eletrônico pode atingir durante sua operação. Alguns exemplos:

Processador	Potência	Temperatura
AMD K6-2/550 AFX	25W	70°C
AMD Athlon/1200, mod 4	65W	95°C
AMD Duron/800, mod 3	35W	90°C
Pentium 4 / 1.5 GHz	55W	72°C

Quanto maior é a potência elétrica gerada por um componente, maior tendência ele terá para chegar a temperaturas elevadas. Cuidados devem ser tomados para que a temperatura máxima suportada pelo componente não seja ultrapassada. Se não tomarmos os devidos cuidados, a potência gerada pelos componentes resultará em aumento de temperatura que irá prejudicar esses componentes. Esses cuidados consistem em transferir para o ar o calor gerado pelos componentes, ao mesmo tempo em que o ar quente é expulso das suas proximidades.

Efeitos da temperatura sobre o processador

Quando um componente trabalha em uma temperatura mais elevada que a máxima recomendada pelo fabricante, podem ocorrer os seguintes problemas:

- Defeito permanente
- Redução da vida útil
- Perda de confiabilidade
- Defeitos ao aquecer

Neste capítulo trataremos sobre a refrigeração de processadores. Eles são em geral os componentes que geram mais calor em um computador, e necessitam de mais cuidados em relação à refrigeração. Especificamente neste caso, um processador quente demais pode passar pelos seguintes problemas:

Problema	Sintoma
Defeito permanente	O processador esquenta tanto que pode queimar definitivamente, ficando totalmente inoperante.
Redução da vida útil	Um processador dura muitos anos, até mesmo décadas, mas pode durar apenas um ou dois anos, talvez menos, quando trabalha em temperaturas muito elevadas.
Perda de confiabilidade	O computador apresenta travamentos e erros diversos durante o seu uso normal.

Defeitos ao aquecer	O computador funciona bem enquanto está frio, depois de alguns minutos os problemas começam a aparecer, na forma de erros ou travamentos.
---------------------	---

Não são raros os casos de PCs nos quais ocorrem por exemplo, erros ou travamentos durante a instalação do Windows. É um hábito comum quando ocorre este problema, reduzir o clock do processador antes da instalação do Windows. A redução do clock resulta em redução do aquecimento. A temperatura do processador é mantida em um limite seguro e o seu funcionamento passa a ser correto. O mesmo efeito poderia ser obtido sem reduzir o clock do processador, mas tomando os devidos cuidados para reduzir a sua temperatura. Essas providências são as seguintes:

- 1) Reduzir a temperatura do ambiente
- 2) Melhorar a ventilação interna do gabinete
- 3) Tornar mais eficiente a operação do cooler do processador

Quanto mais elevada é a temperatura ambiente, ou seja, externa ao computador, mais elevada será a temperatura do processador. A temperatura ambiente pode ser reduzida, por exemplo, com o uso de ar condicionado. Caso isto não seja possível, devemos utilizar os outros dois processos para reduzir a temperatura: melhorar a ventilação interna do gabinete e tornar mais eficiente o cooler do processador, conseguindo assim os mesmos graus Celsius a menos que seriam obtidos graças ao ar condicionado.

A refrigeração interna do gabinete é outro fator importante. De um modo geral, a temperatura do interior do gabinete do computador é maior que a temperatura do ambiente, devido ao calor gerado pelos componentes, pelo disco rígido, pelo drive de CD-ROM, pela placa de vídeo 3D (algumas esquentam tanto que usam cooler ou dissipador de calor) e pelo próprio processador. Quanto pior é a ventilação interna, maior é esta diferença. Um gabinete com ventilação deficitária pode ter a temperatura interna de 40°C ao operar em um ambiente de 30°C, portanto estaria 10°C mais quente que o ambiente. Este mesmo gabinete, com a ventilação melhorada, poderia ficar com a temperatura interna de 35°C ao ser colocado no mesmo ambiente de 30°C, portanto estaria apenas 5°C mais quente. Como veremos mais adiante, algumas providências podem ser tomadas para melhorar a ventilação, reduzindo esta diferença de temperatura.

A terceira providência para reduzir a temperatura do processador é melhorar a eficiência do seu cooler. Um cooler de maior tamanho é capaz de dissipar o calor do processador (ou seja, retirar o calor do processador e transferi-lo

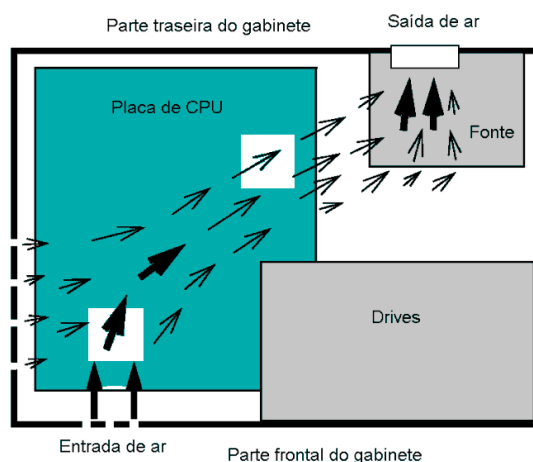
para o ar do interior do gabinete) de forma mais rápida. A transferência de calor também é acelerada quando aplicamos pasta térmica entre o processador e o cooler. Veremos mais adiante como fazê-lo.

Melhorando a ventilação do gabinete

A maioria das fontes de alimentação puxa o ar do interior para o exterior do gabinete. Este método de ventilação tende a resfriar os componentes por igual, de uma forma mais “democrática”, ou seja, todos os componentes serão resfriados de forma equilibrada. Já nos casos em que o ar é jogado para dentro do gabinete, o ar frio chega primeiro ao processador, normalmente localizado próximo da fonte. Este método de refrigeração dá maior prioridade para a redução da temperatura do processador. Os demais componentes do computador tenderão a ficar um pouco mais quentes, em compensação o processador fica menos quente. Portanto:

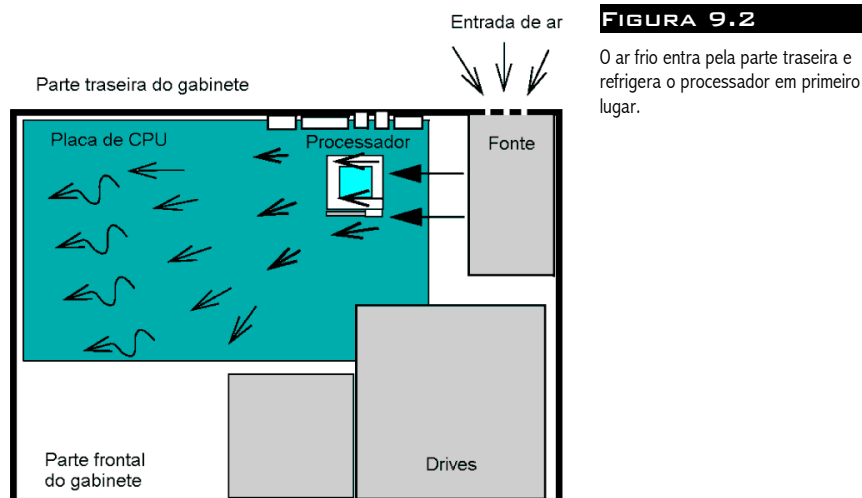
Processador muito quente	É melhor que o ventilador da fonte jogue o ar de fora para dentro do gabinete, isto tende a deixar o processador menos quente, apesar de temperatura dos demais chips ficar um pouco maior.
Processador menos quente	É melhor que o ventilador da fonte jogue o ar de dentro para fora, ou seja, expulsando o ar quente para o exterior do gabinete.

Note que direcionar a ventilação da fonte para o interior do computador é um recurso que deve ser usado apenas quando o processador gera muito calor (por exemplo, acima de 40 W), e também quando este é localizado perto da fonte de alimentação. Quando o processador gera menos calor (dissipação inferior a 40 W, ou quando o processador não fica próximo da fonte, deixe que a ventilação seja feita de dentro para fora.

**FIGURA 9.1**

Ar é jogado para fora do gabinete – este é o método mais usado.

A figura 1 mostra o fluxo de ar em um gabinete no qual o ar é jogado para fora, pela parte traseira. O ar frio entra pela parte frontal do computador, e também pela lateral (estamos no caso de um gabinete horizontal) ou pela parte de baixo (no caso de um gabinete vertical). Note que o fluxo de ar passa pela placa de CPU, em diagonal. Este método de ventilação é adequado tanto para processadores localizados na parte frontal da placa mãe, quanto para os processadores localizados mais próximos da fonte. É o método mais utilizado. Além de refrigerar bem o processador, que está no caminho do fluxo de ar, tende a resfriar de forma equilibrada todos os demais componentes do interior do gabinete. Para que este método de ventilação funcione bem é preciso que a entrada principal de ar seja a localizada na parte frontal do gabinete. Fendas abertas desnecessariamente devem ser tampadas. Por exemplo, as fendas onde são encaixadas as placas de expansão, na parte traseira do gabinete. Quando um slot está livre, devemos deixar tampada a fenda correspondente.



A figura 2 mostra o fluxo de ar no interior do gabinete quando o ar é jogado de fora para dentro pela fonte. Este método é usado com menor frequência, e é indicado para processadores muito quentes, aqueles que dissipam muita potência elétrica (acima de 40W), mas só deve ser empregado quando o processador fica localizado nas proximidades da fonte de alimentação, como mostra a figura. Quando o processador fica em outra parte da placa de CPU, a sua refrigeração será prejudicada, já que o fluxo de ar será mais fraco nos componentes longe da fonte. Este método portanto deve ser usado quando são atendidas simultaneamente as condições:

- O processador é muito quente (dissipa mais de 40W)
- O processador fica localizado próximo da fonte

Note que a maioria das fontes de alimentação joga o ar de dentro para fora do gabinete. Para usar o fluxo inverso, como mostra a figura 2, é necessário inverter o ventilador localizado no interior da fonte. É preciso abrir a fonte de alimentação, desparafusar o ventilador e fixá-lo novamente no sentido inverso. Não basta inverter os seus fios, pois esta simples inversão de polaridade em geral não deixa o ventilador funcionar. É mesmo preciso inverter fisicamente a posição do ventilador.

Grandes fabricantes, que produzem milhares de PCs iguais, podem concluir que um determinado processador de um determinado modelo está esquentando muito e optar pelo uso do fluxo inverso. Pode então encomendar do seu fornecedor, fontes de alimentação já com o fluxo de ar invertido, ou inverter um a um. Técnicos de manutenção devem usar o fluxo

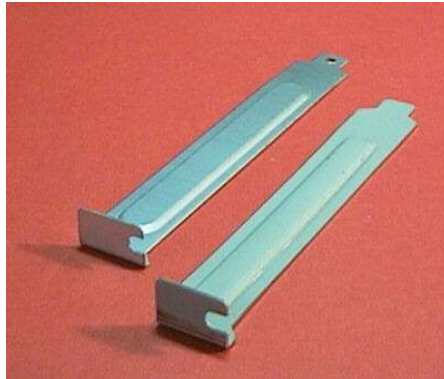
inverso como um recurso experimental. O ideal é medir a temperatura do processador antes e depois da inversão, através de programas monitoradores de temperatura, confirmando assim se o uso do fluxo inverso realmente reduziu a temperatura do processador.

Para facilitar a entrada e a saída de ar, nunca deixe a parte traseira do gabinete encostada em uma parede (mantenha uma distância de no mínimo 15 cm). Se isto não for feito, o fluxo de ar será prejudicado.

Como vimos, na maioria dos gabinetes o fluxo de ar entra pela parte frontal, é puxado pela fonte de alimentação e sai pela parte traseira do gabinete. Além de manter a distância mínima de 15 cm entre a parte traseira do gabinete e a parede, devemos deixar livres as entradas de ar na parte frontal do gabinete. Note que alguns gabinetes possuem entradas de ar na sua parte inferior. Outros possuem apenas entrada frontal. Alguns possuem uma tampa frontal que pode ser levantada ou abaixada. Ficando levantada, é liberada a entrada de ar e tampa os drives; abaixada dá acesso aos drives mas fecha a entrada de ar. Deixe esta tampa levantada, ou então retire-a do gabinete. O ideal é evitar os gabinetes que possuem esta tampa, já que ela atrapalha o fluxo de ar. Em alguns gabinetes não existe entrada frontal de ar (nem na parte inferior), e sim um pequeno orifício para podermos ouvir o som do alto falante interno (PC Speaker). Infelizmente alguns fabricantes esquecem que é necessária uma boa entrada de ar. Evite portanto os gabinetes que não possuem entrada frontal (ou inferior) de ar.

Em qualquer gabinete é fundamental que o fluxo de ar possa trafegar sem obstáculos. Procure organizar os cabos flat no interior do gabinete de tal forma que não fiquem no caminho do fluxo de ar.

Fendas na parte traseira do gabinete tendem a provocar a redução do fluxo de ar que passa pelo processador. Por exemplo, quando uma placa não está conectada em um slot, muitas vezes a fenda traseira correspondente fica vazia. Use tampas apropriadas que são fornecidas junto com o gabinete (figura 3) para fechar as fendas correspondentes aos slots sem uso. Fendas para conectores DB-9 e DB-25 (interfaces seriais e paralelas) sem uso na parte traseira do gabinete também devem ser tampadas, mesmo que seja com fita adesiva. É claro que em um computador novo, todas essas fendas já devem estar tampadas.



*** 35% ***

FIGURA 9.3

Lâminas para fechar as fendas na parte traseira do gabinete.

É importante ainda que a parte traseira do gabinete tenha livre circulação de ar. Além da já citada distância mínima de 15 cm, devemos evitar deixar o ar represado na parte traseira do computador. Não instale o computador em estantes, armários ou mesas que possuam a parte traseira fechada. Quanto mais o ar ficar represado nesta área, maior tenderá a ser o aquecimento no interior do gabinete.

Melhorando a eficiência do cooler

O último recurso, e normalmente o mais importante, para manter a temperatura do processador dentro de limites seguros é melhorar a eficiência do cooler. A figura 4 mostra um cooler acoplado ao processador e as duas temperaturas envolvidas:

t_p : temperatura do processador

t_g : temperatura do interior do gabinete

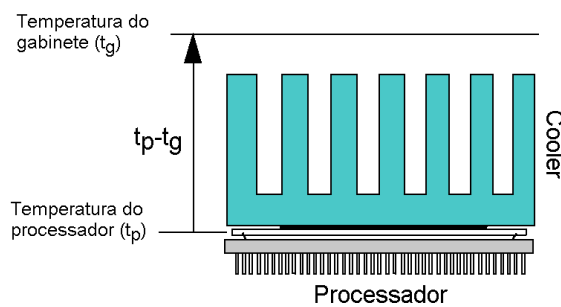


FIGURA 9.4

Cooler acoplado ao processador.

Entre as faces superior e inferior do cooler existe uma diferença de temperatura igual a:

$$\Delta = t_p - t_g$$

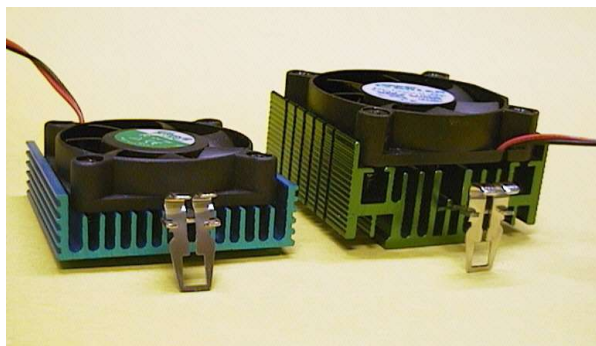
Por exemplo, se o interior do gabinete está a uma temperatura de 45°C e o processador a 60°C, temos

$$\Delta = t_p - t_g = 60^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C} = 15^\circ\text{C}$$

Considerando a temperatura do interior do gabinete como constante, valores elevados de Δ indicam que a temperatura do processador é mais elevada. Intuitivamente percebemos que quanto maior é a potência elétrica P gerada pelo processador, maior será a temperatura do processador, ou melhor, maior será o valor de Δ . Na verdade P e Δ são proporcionais. Se dobramos o valor de P , também dobrará o valor de Δ . A relação entre P e Δ é o que chamamos de resistência térmica do cooler:

$$\theta = \Delta / P$$

Como P é medido em watts (W) e Δ é medido em °C, a unidade de resistência térmica é °C/W. Um cooler de maior tamanho possui uma resistência térmica menor. O cooler menor da figura 5 tem resistência térmica de cerca de 1°C/W, enquanto o maior tem cerca de 0,5°C/W.

**FIGURA 9.5**

Coolers de maior tamanho possuem menor resistência térmica.

Coolers de maior tamanho possuem menor resistência térmica, ou seja, oferecem menos resistência à passagem do fluxo de calor. É interessante que este fluxo de calor seja rapidamente transferido para fora do processador e do cooler, chegando ao ar, que por sua vez é ventilado para longe do processador. A rápida transferência do calor gerado pelo processador para longe evitará o acúmulo deste calor, ou seja, evitará o aumento da sua

temperatura. Portanto, se quisermos reduzir a temperatura do processador, temos que usar um cooler com baixa resistência térmica.

Cálculo da temperatura do processador

Para calcular a temperatura máxima em que um processador irá trabalhar, use a fórmula:

$$t_p = P \cdot \theta + t_g$$

Onde:

t_p = Temperatura do processador

P = Potência dissipada pelo processador

θ = Resistência térmica do cooler

t_g = Temperatura do interior do gabinete

Considere um processador com as seguintes características:

Potência dissipada (P) = 30 W

Temperatura externa máxima do processador: 70°C

Digamos que estamos usando um cooler com resistência térmica de 0,5°C/W. Digamos ainda que a temperatura do interior do gabinete seja de 40°C. Temos então:

$$t_p = 30 \times 0,5 + 40 = 55^\circ\text{C}$$

Observe que nessas condições, a temperatura do processador (55°C) será bem inferior à máxima permitida pelo fabricante (70°C). Isto significa que o processador irá trabalhar de forma segura, com alta confiabilidade e não sofrerá redução da vida útil por excesso de temperatura.

Por outro lado, considere agora o uso de um cooler de menor tamanho, com resistência térmica de 1°C/W. Teremos então:

$$t_p = 30 \times 1 + 40 = 70^\circ\text{C}$$

Este valor é igual ao limite máximo de temperatura especificado para o fabricante neste exemplo. A operação nesta temperatura é considerada segura. Na prática, a temperatura do processador será um pouco menor. A razão disso é que a potência dissipada pelo processador, especificada pelo fabricante, é um valor máximo, e na maior parte do tempo não é utilizada. Este processador pode estar dissipando 30 watts (valor máximo) quando executa um jogo 3D, por exemplo, ou dissipando um valor muito menor (15

watts, por exemplo), quando executa uma tarefa mais simples, como um processador de textos.

Considere agora um outro processador com as seguintes características:

Potência dissipada (P) = 50 W

Temperatura externa máxima do processador: 70°C

Digamos ainda que a temperatura do interior do gabinete seja de 40°C, e que vamos usar um cooler com resistência térmica 0,5°C/W. A temperatura externa deste processador será então:

$$t_p = P \cdot \theta + t_g$$

$$t_p = 50 \times 0,5 + 40 = 65^\circ\text{C}$$

Este valor é seguro, está abaixo dos 70°C permitidos no nosso exemplo. Entretanto temos que tomar muito cuidado. Estamos supondo que a temperatura no interior do gabinete é de 40°C, a mesmo do exemplo anterior. Note que quanto mais potência dissipa um processador, maior será a tendência de aumento na temperatura do interior do gabinete. O cooler consegue manter o processador em uma temperatura segura, mas se a ventilação interna do gabinete não for eficiente, a temperatura interna aumentará de 40°C para 41°C, 42°C e assim por diante, até chegar a um ponto em que a temperatura do processador ficará comprometida. Se a temperatura do interior do gabinete chegar a 45°C, teremos:

$$t_p = 50 \times 0,5 + 45 = 70^\circ\text{C}$$

Neste ponto é atingida a temperatura máxima permitida para o processador. Se a ventilação do gabinete não for eficiente, a temperatura do seu interior continuará aumentando, e a temperatura máxima permitida para o processador será ultrapassada. Cada 1°C a mais na temperatura interna do gabinete corresponderá a 1°C a mais na temperatura do processador.

Portanto, quanto mais potência dissipa um processador, melhor deve ser a ventilação do gabinete. Em PCs com processadores que dissipam mais potência devemos usar de preferência, um segundo ventilador, instalado na parte frontal interna do gabinete, contribuindo para melhorar o fluxo de ar e a ventilação.

Influência da temperatura do ambiente

A temperatura do ambiente também tem influência sobre a temperatura final do processador. Como vimos nos cálculos, a temperatura do processador depende da temperatura do interior do gabinete:

$$t_p = P.\theta + t_g$$

A temperatura t_g do gabinete, por sua vez, depende da temperatura do ambiente t_{amb} (ou seja, a temperatura externa ao computador) e do aquecimento do interior do gabinete (a_g). Este aquecimento deve ser o menor possível, em geral varia entre 5°C e 10°C. É indesejável que este aquecimento seja elevado, pois qualquer aumento é automaticamente refletido na temperatura do processador. Este aquecimento depende da eficiência do sistema de ventilação e da quantidade de calor gerada por todos os circuitos internos do computador. A temperatura interna do gabinete está relacionada com a temperatura do ambiente da seguinte forma:

$$t_g = t_{amb} + a_g$$

Ou seja, a temperatura do gabinete é igual à temperatura do ambiente somada com o aquecimento do gabinete. Para simplificar, se o ambiente estiver a 30°C e o aquecimento interno for 10°C, a temperatura interna do gabinete será 40°C.

Trocando t_g por $t_{amb} + a_g$ na fórmula da temperatura do processador, temos:

$$t_p = t_{amb} + a_g + P.\theta$$

Portanto, para encontrar a temperatura do processador, tomamos a temperatura do ambiente (externa ao PC), somamos com o aquecimento do gabinete, e finalmente somamos com o produto $P.\theta$ (potência x resistência térmica do cooler). Cada 1°C a mais na temperatura do ambiente resultará em 1°C a mais na temperatura do processador. Cada 1°C a mais no aquecimento interno do gabinete também resultará no aumento correspondente de 1°C na temperatura do processador. Sendo assim, para reduzir a temperatura do processador, podemos tomar três providências:

- a) Reduzir a temperatura do ambiente
- b) Reduzir o aquecimento do gabinete
- c) Reduzir a resistência térmica do cooler

Como reduzir a temperatura do ambiente

O método mais comum é utilizar o computador em um ambiente com ar refrigerado. Aliás, muitos dizem que “computador precisa de ar refrigerado”. Não necessariamente. Existem outras formas de reduzir a temperatura dos chips, e usar ar condicionado, reduzindo a temperatura ambiente, é apenas uma delas. Evite utilizar o computador em locais muito quentes. Fuja dos locais onde há incidência de raios solares. Não instale o computador em locais onde o ar quente à sua volta pode ficar represado, como em estantes ou em cantos.

Como reduzir o aquecimento do gabinete

Organize os cabos flat no interior do gabinete para que não atrapalhem o fluxo de ar. Tampe as fendas desnecessárias do gabinete, fazendo com que a maior parte do ar entre pela sua parte frontal. Use um segundo ventilador (normalmente na parte frontal do gabinete) para aumentar o fluxo de ar.

Como reduzir a resistência térmica do cooler

Para isso é preciso utilizar um cooler de maior tamanho. Quanto maior é o tamanho, menor é a sua resistência térmica. Devemos também, conforme recomendam os fabricantes de processadores, aplicar pasta térmica entre o cooler e o processador. Mais adiante daremos mais informações sobre a pasta térmica.

Relação entre potência e clock

Os processadores mais “quentes” dissipam potências elevadas. Consideramos aqui como elevadas, as potências acima de 30W, que já começam a apresentar problemas se não forem tomadas as devidas providências de refrigeração. Em uma família de processadores semelhantes, o modelo de mais alto clock disponível é o que apresenta maior aquecimento. Veja por exemplo a dissipação de alguns processadores Athlon, na figura 6. Note que quanto maior é o clock, maior é a potência.

Table 1. Thermal Design Power

Frequency (MHz)	Voltage	Maximum Thermal Power	Typical Thermal Power	Max Die Temperature	
650	1.75 V	38 W	34 W	90° C	
700		40 W	36 W		
750		43 W	38 W		
800		45 W	40 W		
850		47 W	42 W		
900		50 W	44 W		
950		52 W	47 W		
1000		54 W	49 W		
1100		60 W	54 W		95° C
1133		63 W	56 W		
1200	66 W	59 W			

*** 35% ***

FIGURA 9.6

Dentro de uma família de processadores, quanto maior é o clock, maior é a potência dissipada.

É fácil entender porque o clock maior resulta em maior dissipação de energia. Considere a figura 7, onde são mostrados alguns sinais digitais presentes em um processador. Os gráficos representam valores de tensão em função do tempo. Os circuitos assumem dois valores típicos de tensão: um valor extremamente baixo, próximo de zero, que representa o bit 0, e um valor maior, igual à tensão do núcleo do processador, que representa o bit 1. A transição entre esses valores não é instantânea. Existe um curto período em que a tensão varia linearmente entre o valor máximo e o mínimo. É durante este curto período que ocorre a geração de calor.

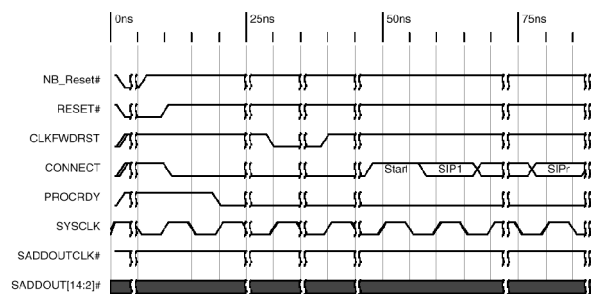
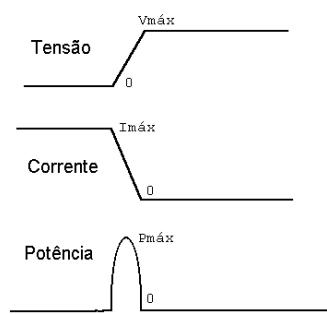


FIGURA 9.7

Formas de onda de sinais digitais de um processador.

Os circuitos digitais existentes nos chips consomem uma pequena corrente elétrica quando geram o bit zero (0 volts), e consomem uma corrente quase nula quando geram o bit 1. Quando a tensão varia de zero para o máximo, a corrente varia do máximo para zero, e vice-versa. A figura 8 mostra uma transição binária, de 0 para 1. Ao mesmo tempo em que a tensão aumenta de zero até $V_{máx}$, a corrente diminui de $I_{máx}$ para zero. Durante esta transição, a potência, que é igual ao produto da tensão pela corrente, parte de zero, atinge um valor máximo, e volta novamente a zero.



*** 35% ***

FIGURA 9.8

Um pulso de potência é gerado quando ocorre uma transição binária.

Cada transição binária terá um pulso de potência correspondente. A figura 9 mostra uma série de transições binárias e uma sucessão de pulsos de potência resultantes dessas transições.

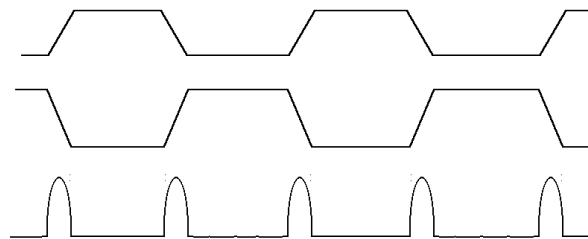


FIGURA 9.9

Transições binárias e pulsos de potência. De cima para baixo: Tensão, Corrente, Potência.

Na figura 10, temos desta vez um clock maior, o que resulta em mais transições binárias ao longo do tempo. Como consequência, maior será o número de pulsos de potência, ou seja, maior será a potência elétrica gerada pelo chip ao longo do tempo. Quando dobramos o clock, dobramos o número de pulsos de potência a cada segundo.

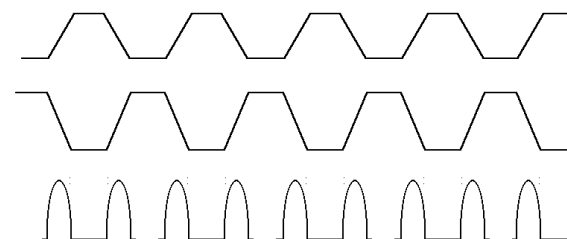


FIGURA 9.10

Com clock maior, temos mais transições por segundo, e mais pulsos de potência.

Comparando vários processadores da mesma família, podemos constatar que a potência varia proporcionalmente com o clock. Tomemos por exemplo os processadores Athlon da tabela da figura 6. Veja por exemplo o Athlon/1000, que dissipa 54W. Como a potência é proporcional ao clock, podemos então considerar que nesta família, cada 100 MHz correspondem a 5,4 watts. Mantida esta proporção, o Athlon/650 dissiparia $6,5 \times 5,4 = 35,1$ W. Está quase correto, a tabela mostra que são 38 W. Da mesma forma, o Athlon/1200 dissiparia $12 \times 5,4 = 64,8$ W, valor bem próximo dos 66 W anunciados pelo fabricante. Como vemos, com boa aproximação, podemos considerar que a potência é praticamente proporcional ao clock. Seguindo esta mesma linha, o Athlon/1500 dissiparia 81 W utilizando esta mesma tecnologia. É uma potência muito elevada, resultará em grande geração de calor e precisará de um cooler gigante. O processador tem grande risco de “fritar” ao ser usado. Este excesso de potência é a principal limitação tecnológica que impede a produção de processadores com clocks mais elevados. Antes de lançarem modelos com clocks mais altos, os fabricantes precisam produzir chips com menor consumo de corrente e menor tensão de operação, o que resultará na redução da intensidade dos pulsos de potência, reduzindo assim a potência total dissipada pelo processador.

Tecnologia para reduzir a potência

Com o passar do tempo, os fabricantes aperfeiçoam o processo de fabricação, construindo os chips com transistores cada vez menores, resultando em menor consumo de corrente e menor dissipação de calor possibilitando o lançamento de modelos com clocks ainda mais elevados. A unidade usada para medir esses minúsculos transistores que formam os chips é o micron, cuja abreviatura é μ . Os processadores Pentium MMX e os primeiros modelos do Pentium II usavam tecnologia de $0,35\mu$. Posteriormente o próprio Pentium II, assim como os primeiros modelos do Pentium III passaram a usar a tecnologia de $0,25\mu$. Mais tarde o Pentium III chegou a $0,18\mu$, a mesma tecnologia usada nas primeiras versões do Pentium 4. A seguir, o Pentium III e o Pentium 4 passaram a usar a tecnologia de $0,13\mu$. A AMD, o outro grande fabricante de processadores, também passou pela mesma evolução. Fabricantes de chips gráficos, chipsets e outros tipos de chips complexos também utilizam com o passar do tempo, todos esses novos processos de fabricação.

Sempre que um fabricante implanta uma nova tecnologia de fabricação com transistores menores e menor dissipação de calor, dois resultados são obtidos:

a) São lançados novos chips com maiores frequências de operação, sem passar por problemas de aquecimento.

b) Os chips já existentes são lançados em novas versões, mantendo o clock mas reduzindo a dissipação de calor e o custo de produção.

Este efeito pode ser mostrado, por exemplo, quando comparamos as duas primeiras famílias do processador Athlon. O chamado Modelo 1, o primeiro a ser lançado, usava a tecnologia de $0,25\mu$. Foi lançado com clocks entre 500 e 700 MHz, e dependendo do clock, dissipava entre 42 W e 58 W.

Ao adotar a tecnologia de $0,18\mu$, a AMD lançou o Athlon Modelo 2. Foi produzido com clocks entre 550 e 1000 MHz, e a potência dissipada variava entre 31W e 65W. Podemos ver as vantagens quando comparamos processadores Athlon de modelos 1 e 2, operando com clocks iguais. A comparação é mostrada na tabela abaixo. Incluímos também o chamado Modelo 4, que é o Athlon com encapsulamento PGA, com cache L2 embutida no núcleo do processador. Apesar de também utilizar a tecnologia de $0,18\mu$, os Athlons modelo 4 dissipam um pouco menos que os Athlons modelo 2.

Clock (MHz)	Potência dissipada		
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 4
500	42 W	-	
550	46 W	31 W	
600	50 W	34 W	
650	54 W	36 W	38 W
700	58 W	39 W	40 W
750	-	40 W	43 W
800	-	48 W	45 W
850	-	58 W	47 W
900	-	60 W	50 W
950	-	62 W	52 W
1000	-	65 W	54 W
1100	-	-	60 W
1133	-	-	63 W
1200	-	-	66 W

Dissemos anteriormente que processadores de mesma família têm dissipação de potência proporcional ao clock. À primeira vista pode parecer errado, quando vemos que o Athlon/700 modelo 1 dissipa 58 W, enquanto o Athlon/800 modelo 2 dissipa apenas 48 W. Ocorre que neste caso, modelo 1 e modelo 2 representam famílias diferentes, usando respectivamente tecnologias de $0,25\mu$ e $0,18\mu$. Não podemos portanto comparar potências e clocks de processadores que pertençam a famílias diferentes, mesmo que se tratem de processadores com o mesmo nome. Fica aqui também uma dica

importante para os produtores de PCs: antes de comprar um processador, verifique quais são as famílias disponíveis e qual é a de tecnologia mais recente, a que tem menor dissipação de calor.

Comparando os Athlons modelos 2 e 4, vemos que para os clocks de 650 a 750 MHz, o modelo 4 dissipa mais potência que o modelo 2, mas para os clocks mais elevados, o modelo 4 dissipa menos. A razão disso é a diferença nas caches L2 do Athlon modelo 2. Todos eles têm cache L2 fora do núcleo, com 512 kB, mas a frequência de operação desta cache não mantém proporcionalidade com a frequência do núcleo. Comparando essas três famílias de Athlon, verificamos que o fabricante evita produzir modelos que dissipem muito mais de 60 watts. Há poucos anos atrás, os processadores mais quentes dissipavam algo entre 30 e 50 watts. Se fosse respeitada esta regra, o Athlon mais veloz desta tabela seria o de 900 MHz. Os modelos superiores a este não seriam produzidos, devido ao elevado aquecimento. Como os processadores quentes de hoje em dia são mais quentes que os processadores quentes de antigamente, eles também precisam utilizar dissipadores de calor mais eficientes. No tempo dos processadores que operavam em até 300 MHz, dissipadores com 1 cm de altura (a parte de alumínio) davam conta dos modelos mais quentes. Para os processadores mais velozes produzidos recentemente, era preciso usar dissipadores maiores, onde a parte de alumínio tinha em média 2,5 cm de altura. Para as versões mais quentes do Athlon, a AMD recomenda dissipadores com 4 a 6 cm de altura na parte de alumínio.

Usando a pasta térmica

Como vimos na sessão anterior, o uso de um cooler de maior tamanho é recomendável em qualquer caso, mas ele sozinho não resolve todo o problema de aquecimento. Existe um outro inimigo do processador, que é a má condução térmica entre a sua chapa metálica superior e o cooler. Na discussão anterior estávamos supondo uma transferência de calor perfeita entre o processador e o cooler, o que na prática não ocorre. De um ponto de vista microscópico, o contato físico entre o processador e o cooler não é perfeito. As superfícies de ambos não são perfeitamente lisas, e minúsculas lacunas de ar são formadas nesta junção. O calor atravessaria com mais facilidade um contato perfeito entre dois metais, mas terá maior dificuldade (ou seja, existe uma resistência térmica) para atravessar as microscópicas lacunas de ar. Tipicamente esta junção tem uma resistência térmica em torno de $0,5^{\circ}\text{C}/\text{W}$. Este valor é somado à resistência térmica do cooler. Teríamos então:

$$\text{Cooler pequeno: } \theta = 1^{\circ}\text{C/W} + 0,5^{\circ}\text{C/W} = 1,5^{\circ}\text{C/W}$$

$$\text{Cooler grande: } \theta = 0,5^{\circ}\text{C/W} + 0,5^{\circ}\text{C/W} = 1^{\circ}\text{C/W}$$

Apesar do cooler grande continuar levando vantagem, ambos farão o processador operar com temperaturas mais elevadas. Considerando como 40°C a temperatura interna do gabinete e 30 watts a potência dissipada pelo processador, as temperaturas do processador em ambos os casos seriam de:

$$\text{Cooler pequeno: } t_p = 40^{\circ}\text{C} + 30\text{W} \times 1,5^{\circ}\text{C/W} = 85^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Cooler grande: } t_p = 40^{\circ}\text{C} + 30\text{W} \times 1^{\circ}\text{C/W} = 70^{\circ}\text{C}$$

Vemos desta forma o processador pode ficar muito quente. Em um processador que dissipa 60 Watts, cada $0,1^{\circ}\text{C/W}$ a mais na resistência térmica resultará em um aumento de 6°C na temperatura final do processador. Por isso é importantíssimo, principalmente no caso de processadores mais quentes, reduzir a resistência térmica entre o processador e o cooler. Esta redução é conseguida com a ajuda da pasta térmica.

Como vimos, a elevada resistência térmica existente entre o processador e o cooler faz com que o processador ultrapasse com facilidade a máxima temperatura permitida. A situação só não é tão crítica porque a potência máxima de um processador nem sempre é observada. Na maior parte do tempo (por exemplo, quando um programa aguarda pela digitação de dados ou comandos do mouse), o processador fica “descansando”. São raras as situações em que o processador fica 100% do tempo ocupado, gerando sua potência máxima. Por isso são comuns os travamentos em jogos. Para gerar complexos gráficos tridimensionais, o processador trabalha muito e passa a utilizar intensamente sua unidade de ponto flutuante, produzindo elevado aquecimento. A potência dissipada chega ao seu valor máximo e a temperatura pode ultrapassar facilmente o valor máximo permitido.

A solução para o problema é melhorar a condução térmica entre a chapa superior do processador e o cooler. Isto é conseguido com o uso de pasta térmica. Trata-se de uma pasta com boa condutividade térmica (ou seja, pequena resistividade térmica) que é aplicada entre o processador e o cooler, preenchendo a maior parte das as microscópicas lacunas de ar. Sem pasta térmica, a junção entre o processador e o cooler tem resistência térmica em torno de $0,5^{\circ}\text{C/W}$. Com a pasta térmica, esta resistência é de cerca de $0,2^{\circ}\text{C/W}$. Parece uma vantagem pequena, mas com o processador dissipando 30 watts, esta menor resistência térmica provocará uma redução de 9°C na

temperatura do processador. Para processadores que dissipam 50 watts, a redução será de 15°C, portanto vale muito a pena fazer a sua aplicação.

Aplicando a pasta térmica

A pasta térmica pode ser encontrada com facilidade em lojas de material eletrônico, e até em algumas lojas especializadas em material de informática, especificamente hardware. Um pote de 15 gramas, como o da figura 11, é suficiente para aplicação em algumas dezenas de processadores.



*** 35% ***

FIGURA 9.11

Pote de pasta térmica.

Aplicamos uma fina camada de pasta sobre a face superior do processador, como mostra a figura 12. Não exagere na quantidade de pasta, por ser for aplicada uma quantidade muito grande, poderá prejudicar a condução térmica, ao invés de melhorar. Lembre-se que o objetivo da pasta é preencher as microscópicas lacunas de ar que ficam entre o processador e o cooler, portanto uma pequena quantidade é suficiente.

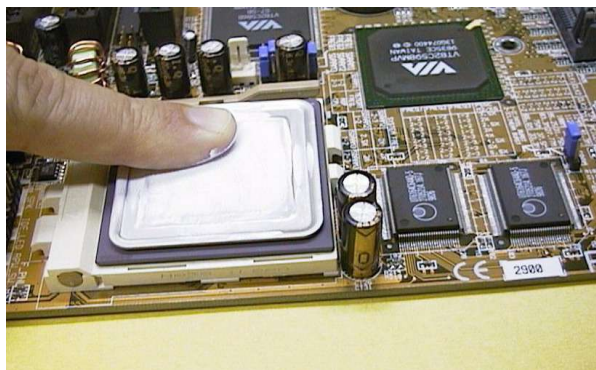
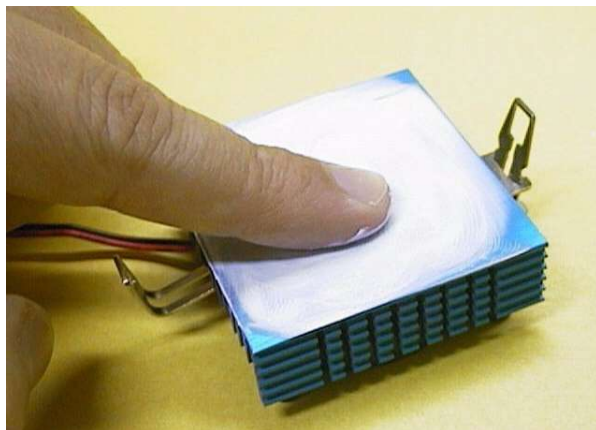


FIGURA 9.12

Aplicando pasta térmica sobre o processador.

Aplice a pasta também sobre o cooler, como mostra a figura 13. O ponto de aplicação é a parte do cooler que faz contato físico com a face superior do

processador. Prenda então o cooler sobre o processador, pressionando levemente para que as duas camadas de pasta se misturem completamente.

**FIGURA 9.13**

Aplicando pasta térmica no cooler.

Medições reais de temperatura

As reduções de temperatura obtidas com o uso de um cooler grande e de pasta térmica serão muito mais significativas nos processadores mais “quentes”. Lembre-se da equação de temperatura $\Delta = P \times \theta$ (variação de temperatura é igual à resistência térmica multiplicada pela potência elétrica), portanto quanto maior é a potência, maior será a queda de temperatura resultante do uso de uma menor resistência térmica.

Mostramos a seguir medidas feitas em laboratório utilizando um processador AMD K6-2/400 AFQ. Este processador não é dos mais quentes, mas muitos técnicos sofreram com a manutenção de vários PCs equipados com ele. Na época (início de 1999), muitos produtores de PCs não sabiam que ele necessitava de uma refrigeração especial, com um cooler maior e pasta térmica. Usavam o mesmo tipo de cooler empregado no Pentium MMX, que dissipava bem menos potência. O resultado foi o aquecimento excessivo, e muitos PCs apresentavam problemas, principalmente nas versões do K6-2 que ainda usavam a tecnologia de 0,35 micron.

Este processador é razoavelmente “quente”, tem dissipação máxima de cerca de 23 watts. A placa de CPU utilizada foi uma FIC VA-503+. Na parte inferior do cooler foi feita uma pequena ranhura para a introdução de um termômetro digital envolto em pasta térmica. Este é o método de medição recomendado pela AMD. A temperatura ambiente da sala onde estava o computador era de 28°C, e o interior do gabinete estava a 35°C. Para que o

processador tivesse o maior aquecimento possível, colocamos o PC para executar um jogo tridimensional (Need for Speed III) fazendo renderização por software. Isto provoca o uso intenso da unidade de ponto flutuante e das instruções 3D Now!, produzindo grande geração de calor (existe um processo ainda melhor, que é utilizar o programa MAX_POW.EXE, fornecido pela AMD através do seu site www.amd.com, que coloca o processador em um loop de instruções que resulta na máxima dissipação de calor). As medidas foram feitas com um cooler pequeno e um grande, ambos utilizados com pasta e sem pasta. A tabela abaixo mostra os resultados obtidos. O valor Δ representa a variação de temperatura além dos 35°C do interior do gabinete. Mostramos também a temperatura final do processador, somando o valor ambiente com o aquecimento do processador.

Cooler / pasta	Aquecimento adicional	Temperatura do processador
Pequeno, sem pasta	$\Delta = 18^{\circ}\text{C}$	53°C
Pequeno, com pasta	$\Delta = 12^{\circ}\text{C}$	47°C
Grande, sem pasta	$\Delta = 13^{\circ}\text{C}$	48°C
Grande, com pasta	$\Delta = 9^{\circ}\text{C}$	44°C

O AMD K6-2/400 AFQ é pouco tolerante à temperatura, deve operar no máximo a 60°C. Portanto um cooler pequeno sem pasta térmica o deixa quase no limite máximo. Bastaria por exemplo a temperatura do ambiente subir para 35°C (resultando em 42°C no interior do gabinete) para o limite de 60°C ser atingido, ou então que o PC tenha dispositivos que geram mais calor (por exemplo, um gravador de CDs ou uma placa 3D), ou então que seja executado um programa que exija ainda mais trabalho do processador, gerando mais aquecimento. Realmente utilizar um cooler pequeno e ainda sem pasta térmica é o mesmo que “torturar” o processador.

Note que nas medidas realizadas, o cooler pequeno com pasta térmica resultou em aquecimento sensivelmente menor (+12°C contra +13°C) que o obtido com o cooler grande sem pasta. Portanto, deixar de lado a pasta térmica e apenas optar pelo cooler de maior tamanho nem sempre é a melhor solução. Como esperado, a menor variação de temperatura é a obtida com o cooler grande e a pasta térmica. Como resultado, o computador poderá operar confiavelmente com programas que exigem mais trabalho do processador, poderá ter mais dispositivos “quentes” no interior do gabinete (gravador de CDs, placa 3D, por exemplo) e poderá ser instalado em um ambiente mais quente, sem ar condicionado, e mesmo assim continuar operando sem ultrapassar a temperatura máxima de 60°C especificada pelo fabricante.

Fita térmica

Tanto os fabricantes de processadores quanto os fabricantes de coolers sabem que é necessário aplicar pasta térmica entre o cooler e o processador. Isso é muito mais necessário hoje em dia que há poucos anos atrás. Por volta de 1998, os processadores mais quentes dissipavam em torno de 30 W. No início de 2001, os mais quentes ultrapassavam 60 W. Um processador tem chances de funcionar bem quando é acoplado a um cooler grande sem pasta térmica. Apenas poderá ficar muito vulnerável à temperatura quando estiver sendo 100% utilizado, o que ocorre poucas vezes na prática. Já os processadores atuais, mesmo quando estão realizando tarefas típicas, podem ultrapassar a temperatura limite se não utilizarem pasta térmica.

Os fabricantes de coolers passaram a utilizar nos seus produtos, uma fita térmica, que funciona de forma similar à pasta térmica. A vantagem é que o usuário não precisa se preocupar em aplicar a pasta térmica. Basta acoplar o cooler e aplicar pressão contra o processador, para que a fita faça a ligação térmica entre o cooler e o processador. A desvantagem é que quando o cooler é retirado do processador e novamente instalado, a eficiência da fita térmica é reduzida, pois esta fita tende a se desmanchar quando o cooler é desacoplado. Neste caso é melhor remover a fita e usar a boa e velha pasta térmica. A fita térmica é eficiente apenas quando é usada pela primeira vez.

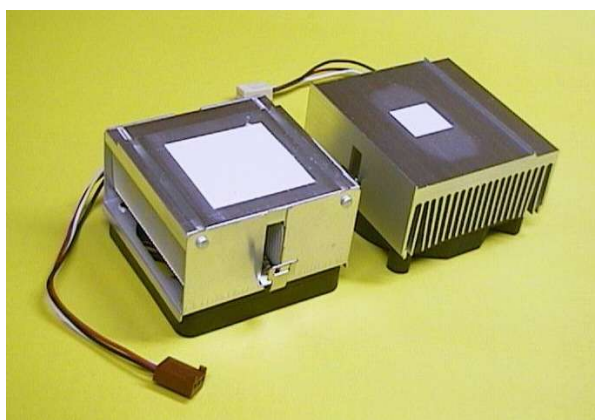


FIGURA 9.14

Coolers com fita térmica.

Temperatura do encapsulamento e da junção

Os cálculos de temperatura que apresentamos aqui levam em conta que a temperatura externa do processador não pode ultrapassar um valor máximo estabelecido pelo fabricante. Esta temperatura externa é indicada nos manuais como plate temperature ou case temperature.

O cálculo da temperatura externa do processador é feito com a fórmula:

$$t_p = P \cdot \theta + t_g$$

Onde:

t_p = Temperatura do processador

P = Potência dissipada pelo processador

θ = Resistência térmica do cooler

t_g = Temperatura do interior do gabinete

Neste fórmula, a resistência térmica do cooler deve ser somada à resistência térmica de contato entre o cooler e o processador. O valor desta resistência varia entre 0,2 e 0,6 °C/W, dependendo da presença ou ausência da pasta térmica. Ocorre que em certos manuais, ao invés de ser especificada a máxima temperatura externa do processador (case, plate ou sink), é especificada a máxima temperatura interna. Esta temperatura aparece nos manuais com os seguintes nomes:

- Core temperature
- Die temperature
- Junction temperature

Os cálculos devem então levar em conta que a temperatura da junção não deve ultrapassar o valor máximo especificado pelo fabricante. A fórmula a ser usada é bastante parecida:

$$t_j = P \cdot \theta + t_g$$

Onde:

t_j = Temperatura interna do processador

P = Potência dissipada pelo processador

θ = Resistência térmica total

t_g = Temperatura do interior do gabinete

Neste tipo de cálculo, esquecemos a temperatura externa do processador e levamos em conta apenas a temperatura interna. Se a máxima temperatura interna for respeitada, automaticamente também será respeitada a máxima temperatura externa, e vice-versa. O valor de resistência térmica que devemos usar nesta fórmula é igual à soma dos dois valores:

Resistência térmica entre a junção e o dissipador (Junction-Sink)

Resistência térmica do cooler (Sink-Ambient)

Quando o manual de um processador faz referência à máxima temperatura interna (core, die ou junction), também deverá indicar o valor da resistência térmica interna, ou seja, entre a junção e o dissipador.

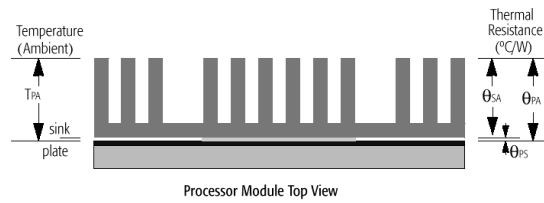


FIGURA 9.15

Cálculos envolvendo a temperatura externa.

A diferença é bastante sutil, e é mostrada nas figura 15 e 16. No método usado na figura 15, não nos preocupamos com a temperatura interna, e sim com a externa (plate ou case). A resistência térmica usada nos cálculos é igual a:

$$\theta_{PA} = \theta_{PS} + \theta_{SA}$$

Resistência total =
resistência entre carcaça e dissipador +
resistência entre dissipador e ambiente

Usamos esta resistência para calcular a temperatura externa do dissipador, com a fórmula:

$$t_p = P \cdot \theta_{PA} + t_g$$

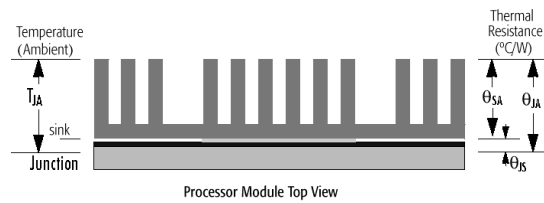


FIGURA 9.16

Cálculos envolvendo a temperatura interna.

No sistema da figura 16, o fabricante não faz menção a temperatura externa, e sim à temperatura interna do processador (core, die ou junction), que é bem mais alta. Enquanto as temperaturas externas variam em torno de 70°C, a temperatura da junção fica em torno de 90°C. Neste caso a resistência térmica a ser levada em conta é:

$$\theta_{JA} = \theta_{JS} + \theta_{SA}$$

Resistência total =
resistência entre junção e dissipador +
resistência entre dissipador e ambiente

Usamos esta resistência térmica total para calcular a temperatura da junção, usando a fórmula:

$$t_j = P \cdot \theta_{JA} + t_g$$

Em todos os casos, não esqueça que a resistência entre a carcaça do processador e o dissipador deve ser a menor possível, o que é obtido com o uso de pasta térmica ou material equivalente.

////////// FIM //////////