



COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE TRÊS AMBIENTES RESIDENCIAIS NATURALMENTE VENTILADOS EM FLORIANÓPOLIS, SUL DO BRASIL

Ana Lígia Papst (1); Roberto Lamberts (1)
LabEEE / NPC – Departamento de Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário – Trindade, Florianópolis – SC - C.P. 476 CEP 88040-900
Fone: 0xx48 331 5185 Fax: 0xx48 331 5191
e-mail: analigia@labeee.ufsc.br
e-mail: lamberts@ecv.ufsc.br

RESUMO

Durante um período de 9 meses foram feitas medições de temperatura de bulbo seco em três dormitórios de uma residência na cidade de Florianópolis - SC. Os dormitórios diferem entre si em orientação, tamanho e inércia térmica. Para poder comparar os ambientes, foi utilizado o método dos graus hora e horas de desconforto. Os valores resultantes de graus hora são difíceis de serem interpretados, e o número de horas em desconforto não representa o quanto da temperatura está acima da zona de conforto. Por isso, foi estabelecido o conceito de grau médio para poder comparar o desempenho térmico dos ambientes. Este trabalho mostra como foi feito o tratamento dos dados e discute os resultados obtidos.

Palavras-chave: Desempenho térmico, grau médio, horas de desconforto, temperatura base.

1. INTRODUÇÃO

A avaliação do desempenho térmico de países de clima frio é feita através dos elementos de vedação, com o objetivo de racionalizar o consumo de energia para aquecimento. O desempenho térmico de edificações condicionadas artificialmente é usualmente avaliado pelo consumo energético mensal. Em edificações sem condicionamento de ar artificial, e localizadas em locais com temperaturas e umidades altas, o conforto térmico é alcançado através da ventilação. Nas edificações naturalmente ventiladas, o desempenho térmico é afetado pelas trocas de ar e pelas características construtivas da edificação. A influência da ventilação em uma edificação sem condicionamento artificial, é influenciada de maneira direta pela sensação térmica de seus ocupantes (RAJA et al., 1998 e 2001). Os usuários de ambientes naturalmente ventilados aceitam faixas de temperaturas de conforto superiores a faixas de temperaturas de ambientes condicionados. Isto porque vão interagindo com o ambiente interno, modificando seu próprio comportamento, e gradualmente se ajustando as condições do entorno (BRAGER e DEAR, 2000).

O fluxo de ar em contato com a pele transfere o calor do corpo humano para o ar quando este tem temperatura inferior a temperatura da pele. A ventilação é necessária para evitar problemas da transpiração em locais que tenham o clima com umidades elevadas. Conhecendo-se a direção e a velocidade dos ventos

predominantes de um determinado local, é possível projetar os ambientes, área de aberturas e posicionamento, para que haja uma distribuição no fluxo de ar interno. O movimento do ar de 1.5 m.s^{-1} na superfície corporal, pode aumentar a temperatura de neutralidade térmica em até 6 K (SZOKOLAY, 1999). Edificações naturalmente ventiladas e sem inércia térmica apresentarão no máximo as temperaturas internas iguais às temperaturas externas, quando bem protegidas dos ganhos térmicos da radiação solar.

O desempenho térmico de edificações naturalmente ventiladas depende então de três itens, características construtivas, possibilidade de ventilação dos ambientes em períodos quentes e úmidos, e de que forma se dá a intervenção dos ocupantes.

A avaliação do desempenho térmico de edificações naturalmente ventiladas, deveria levar em consideração estes três itens: construtivo, climático e humano.

O IPT (sem data) sugere a avaliação do desempenho térmico de edificações naturalmente ventiladas através da verificação de temperaturas máximas e mínimas, e umidades relativas dentro de determinados limites de conforto. Estes dados podem ser resultantes de simulação ou medição *in loco*. Este tipo de avaliação do desempenho térmico delimita níveis aceitáveis de temperaturas e umidades internas, não levando em conta a aclimação dos usuários, ou a possibilidade de temperaturas internas altas, mas com ventilação garantindo as condições de conforto. A determinação destas temperaturas através de medições *in loco* mostra a intervenção dos usuários, enquanto dados resultantes de simulação, não mostram o gerenciamento aleatório dos ocupantes em função do clima, vestimenta e atividade desenvolvida em cada momento do dia. Determinar o desempenho térmico por temperaturas máximas e mínimas, não representa também, quanto tempo que estas situações críticas ocorreram num mesmo dia. Neste sentido, BARBOSA (1997) sugere a avaliação do desempenho térmico comparando o número de horas do ambiente interno com temperaturas fora dos limites de temperaturas da zona de conforto (18°C e 29°C), versus a quantidade de horas que o ambiente externo apresentou temperaturas fora dos limites da zona de conforto. Este tipo de avaliação, sugerida para comparar edificações residenciais de baixa renda, não mostra o quanto da temperatura interna esteve acima ou abaixo das temperaturas da zona de conforto. Por exemplo, três horas com 5°C acima da zona de conforto, podem ser mais desconfortáveis do que 6 horas com 1°C acima da zona de conforto.

SZOKOLAY (1996) utilizou o conceito de graus hora de desconforto para avaliar o desempenho térmico de edificações naturalmente ventiladas em clima quente e úmido através de simulação. A metodologia usada para determinar graus hora de desconforto consiste em somar as temperaturas excedentes de uma determinada temperatura base. Os valores resultantes servem para comparar se uma edificação apresenta valor de graus hora superior ou inferior a uma outra. Mas estes valores são difíceis de serem interpretados, e não demonstram a quantidade de horas acima da temperatura base (T_b).

Este trabalho propõe avaliar o desempenho térmico de edificações naturalmente ventiladas usando o número de horas acima ou abaixo de determinadas temperaturas base, junto com a média dos valores excedentes à temperatura adotada como base. Assim é possível avaliar o tempo com temperaturas acima da base estipulada, assim como, o grau de desconforto por diferentes temperaturas base. Estas temperaturas podem ser escolhidas com referência as temperaturas limites de conforto, ou para comparar o desempenho térmico dos ambientes em diferentes temperaturas base.

Os dados horários de temperaturas internas e externas medidos durante nove meses em uma residência em Florianópolis – SC, serão usados para avaliar a metodologia proposta.

2. OS DORMITÓRIOS

A edificação que teve suas temperaturas internas e temperatura externa monitoradas durante nove meses, situa-se no bairro Lagoa da Conceição em Florianópolis – SC.

Os dormitórios serão descritos a seguir como: dormitório 1, dormitório 2 e dormitório 3.

A Figura 01 mostra o detalhe construtivo das paredes e a Figura 02 apresenta o detalhe construtivo da cobertura da residência. A Figura 03 apresenta um corte esquemático da residência.

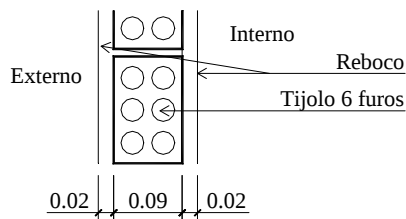


Figura 01 Detalhe construtivo parede, sem escala.

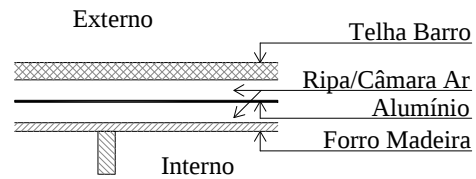


Figura 02 Detalhe construtivo cobertura, sem escala.

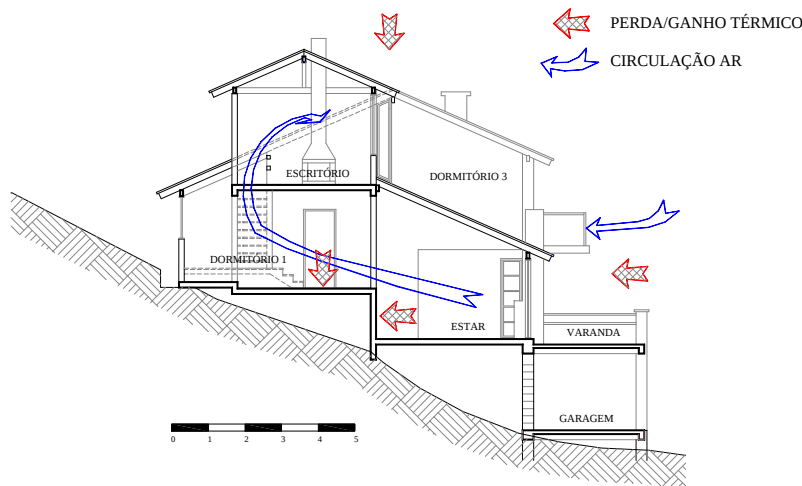


Figura 03 Corte Esquemático.

Esta edificação foi implantada na encosta de um morro. Sendo que a orientação solar a leste é em grande parte protegida pelo morro e pela vegetação. Sua fachada principal ficou a oeste devido à vista da Lagoa.

O principal ganho de calor externo nesta edificação é causado pela radiação solar, devido a suas grandes aberturas com vidro a oeste. Seu ganho de calor pela cobertura deveria ser minimizado pelo uso de folha de alumínio abaixo da telha de barro, mas devido à sujeira acumulada sobre as telhas, parte desta pode estar diminuindo o desempenho do alumínio. Durante o verão, esta residência é protegida dos raios solares matutinos, vindo a ter um maior desconforto no período vespertino. Para minimizar o desconforto por calor, permite-se uma plena ventilação por entre as aberturas. No período frio, consegue-se evitar o desconforto interno através do uso da lareira. Suas grandes aberturas permitem uma boa ventilação, amenizando os efeitos do calor. E no inverno, as aberturas com vidro, permitem a entrada do ganho solar, e permanecendo fechadas evitam a perda de calor.

Esta edificação possui um grande contato com uma rocha. A rocha por estar em contato com a terra permanece com uma temperatura média diária com pouca variação. Quando a temperatura interna é maior do que a da rocha, a tendência é o calor ser dissipado para a rocha, ocorrendo o inverso no inverno. Este

contato com a rocha aumenta a inércia térmica de alguns ambientes, ajudando a diminuir a amplitude interna quando há uma grande variação externa.

No pavimento intermediário encontram-se dois dormitórios, o dormitório 1 e o dormitório 2. O dormitório 1 tem sua principal abertura, uma porta janela com esquadrias de vidro e veneziana, orientada a norte. Tem uma abertura menor, mas também com folhas de vidro e veneziana, voltada à leste. Este ambiente não se encontra abaixo da cobertura, sua laje de cobertura é o piso de um outro ambiente. O dormitório 2 tem duas janelas, também com folhas de vidro e veneziana, mas só que orientadas a leste e sul. Vale lembrar que na orientação leste não há incidência solar devido à existência do morro. Este ambiente fica abaixo da cobertura, orientada à leste. Abaixo destes dois dormitórios há um pequeno vazio, que é fechado e usado como porão. Este contato com a rocha garante a estes dois dormitórios, inércia térmica.

O dormitório 3 tem duas portas janelas, com esquadrias de vidro e veneziana, orientadas a oeste, aproveitando a vista da Lagoa. Possui uma pequena abertura a sul, também com vidro e veneziana. Neste dormitório, para evitar condições extremas de desconforto térmico, possui uma lareira e um ventilador de teto. Este ambiente fica abaixo da cobertura, orientada à oeste.

A tabela 1 apresenta a composição das paredes dos três dormitórios por orientação.

Tabela 1 – Orientações das envoltórias externas dos ambientes monitorados.

Ambiente	N	E	S	O
Dormit. 1				
Dormit. 2				
Dormit. 3				

Legenda da Tabela 2

	Fachada com grandes aberturas
	Fachada mista de alvenaria e abertura
	Fachada inteira de alvenaria
	Sem fachada nesta orientação

Os dormitórios 1 e 3 estiveram sempre ocupados durante o período da medição. O dormitório 2 por ser dormitório de visitas, teve ocupação periódica.

3. MONITORAÇÃO DAS TEMPERATURAS

As três residências tiveram suas temperaturas horárias internas monitoradas no período de 01/04/98 a 31/12/99. O sensor usado para a aquisição de dados de temperatura foi um pequeno equipamento eletrônico de aquisição de sinais, HOBO® “Temperature Data Logger”, da Onset Computer Corporation.

Os dados externos de temperatura de Bulbo Seco foram monitorados na parte externa da edificação, e o sensor protegido da radiação solar.

4. O CLIMA EXTERNO

O clima de Florianópolis caracteriza-se como sendo Subtropical. Neste tipo de clima, as temperaturas médias se situam, normalmente, abaixo de 20°C, a amplitude anual entre 9°C e 13°C, com chuvas fartas e bem distribuídas. O sul do Brasil é marcado durante todo o ano com entradas de frentes frias. A Figura 4 mostra as temperaturas médias diárias de Florianópolis durante o período de 01/04/98 a 31/03/99, e pela

figura é perceptível a constante queda na temperatura média diária, seja período quente ou frio. A máxima das médias diárias de temperatura de bulbo seco neste período foi de 26.4°C no dia 30/12/98, e a temperatura mínima foi de 12.7°C no dia 09/07/98.

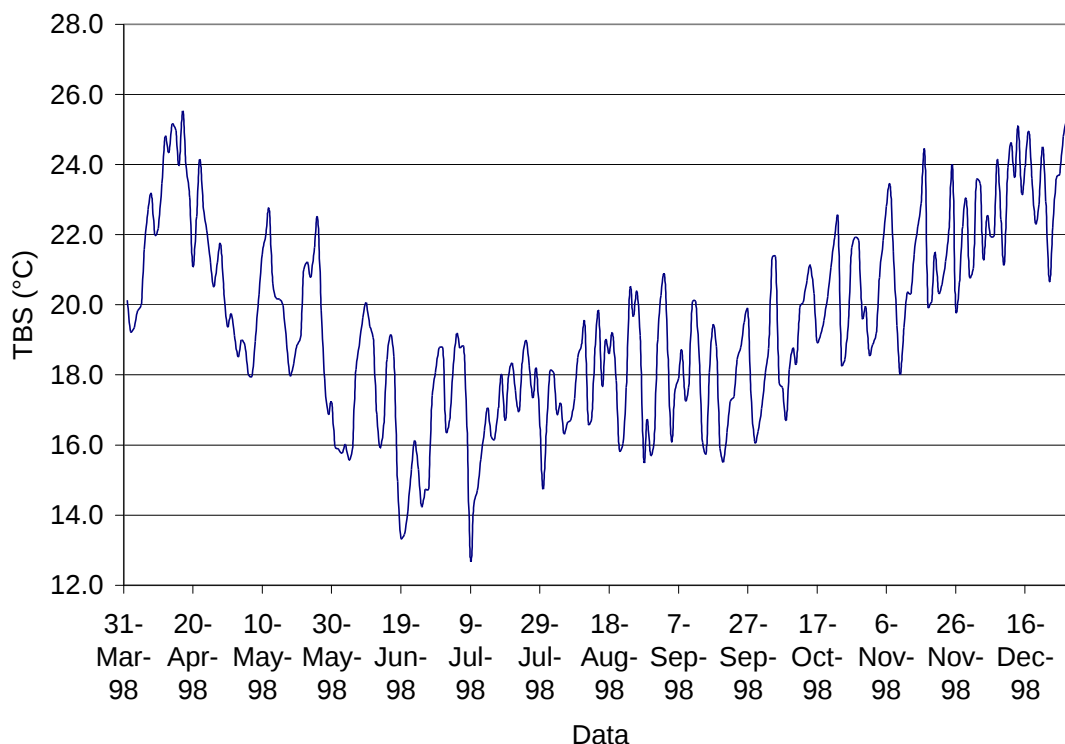


Figura 4 - Distribuição temperaturas externas médias diárias no período de 01/04/98 a 31/12/99.

5. METODOLOGIA

O critério de $\Sigma^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}$ (somatório de graus hora) é determinado usando-se uma temperatura base, onde é feita a somatória dos graus ($^{\circ}\text{C}$) que excedam ou estejam abaixo da temperatura base estipulada. A Figura 5 exemplifica o conceito de graus hora correspondente ao somatório da área acima da temperatura base.

Em PAPST (1999) foram utilizadas temperaturas bases variando em 2 K em 2 K, entre 21°C e 29°C, para temperaturas internas que estivessem acima destes valores. As bases de temperatura para temperaturas inferiores a base estipulada, também variaram em 2 K, mas de 19°C a 13°C. Duas informações foram retiradas do conceito de $\Sigma^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}$ (somatório de graus hora), o **h.**, que é o número de horas que estiveram acima, ou abaixo da base estipulada, e o **g.m.** (grau médio), que é a razão do somatório de graus hora pelo número de horas acima, ou abaixo da base estipulada, ou seja, a média dos graus hora. Esta média será citada durante o texto como **g.m.** ou grau médio. Os ambientes internos das edificações foram comparados com o ambiente externo usando estes dois conceitos, horas com temperaturas acima ou abaixo da base estipulada e grau médio acima ou abaixo da base estipulada.

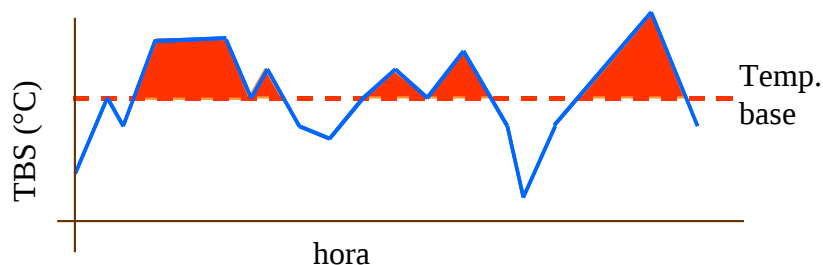


Figura 5 – Exemplificação do conceito de Graus hora acima de uma temperatura base estipulada.

Neste artigo será demonstrada a comparação dos dormitórios nas bases de 25°C e 27°C, e as temperaturas internas inferiores a 19°C e 17°C, nos meses de abril a dezembro de 1998. A comparação será feita entre os dormitórios com o ambiente externo.

6. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As Figuras 6 e 7 correspondem respectivamente a temperaturas base de 27°C e 25°C, com o número de horas e o grau médio das temperaturas externas e internas em cada mês que excederam as respectivas temperaturas base.

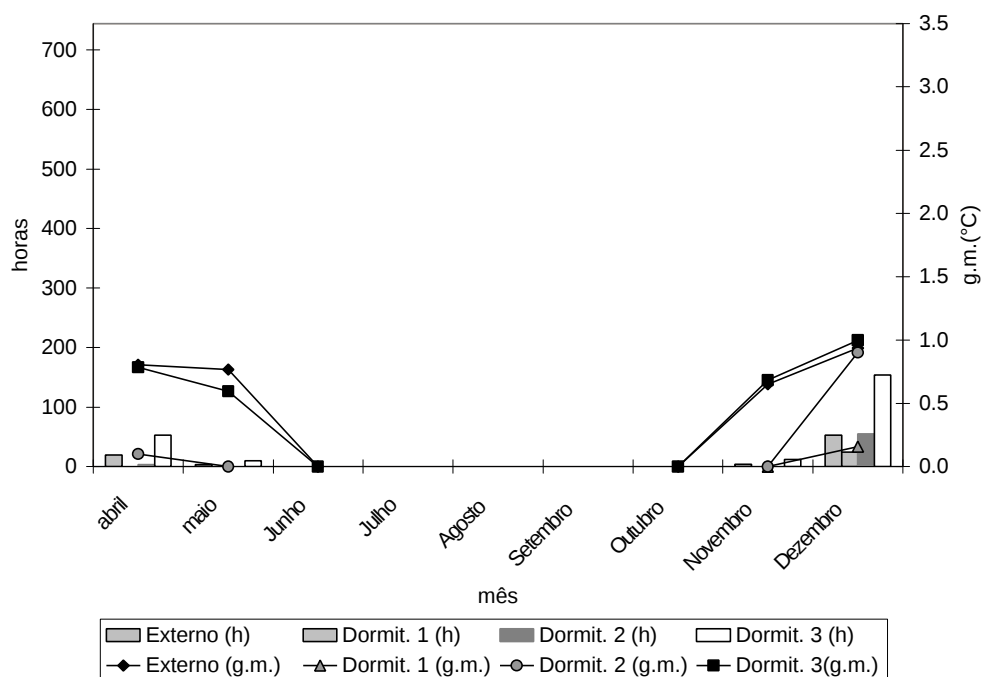


Figura 6 – Distribuição mensal de número de horas e grau médio acima da base de 27°C.

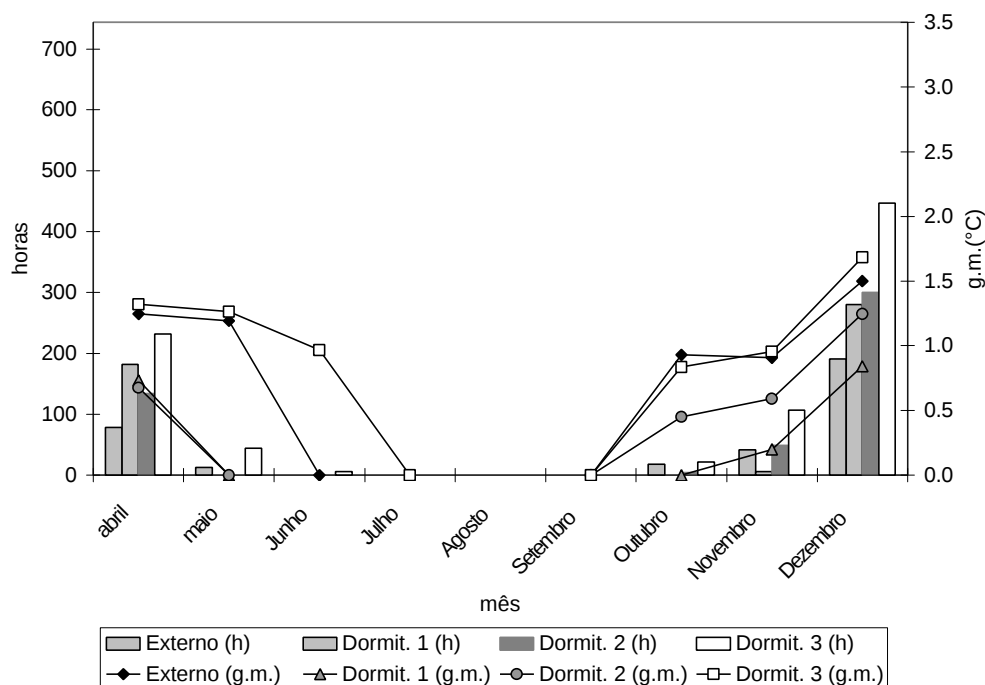


Figura 7 – Distribuição mensal de número de horas e grau médio acima da base de 25°C.

Usando como temperatura base o valor de 27°C, ocorreram temperaturas, internamente ou externamente, acima desta base nos meses de abril, maio, novembro e dezembro. O dormitório 3 sempre apresentou número de horas com temperaturas internas superior ao número de horas com temperaturas externas acima de 27°C. O grau médio acima da base de 27°C nos quatro meses, foi muito próximo do ambiente externo e do dormitório 3. No mês de dezembro, o dormitório 2 apresentou 55 horas com temperaturas acima da base de 27°C, e no ambiente externo 53 horas. O número de horas foi próximo, e o grau médio apresentou o mesmo valor, 0.9°. Nos meses de abril e maio, o dormitório 2 não estava em uso, e por isso apresentou horas e grau médio acima da base de 27°C, inferiores aos do ambiente externo. O dormitório 1, quando apresentou horas com temperaturas acima da base de 27°C, foram inferiores as horas com temperaturas externas acima desta base. O grau médio também foi inferior ao grau médio exterior.

Na base de 27°C, o ambiente que apresentou pior desempenho térmico foi o dormitório 3, que possui aberturas na orientação oeste, ganhos térmicos pela cobertura e pouca inércia térmica. Mas apesar de terem ocorrido mais horas com temperaturas acima da base de 27°C do que o ambiente externo (devido aos ganhos térmicos solares), o grau médio acima da base de 27°C foi de 1°C, o que se poderia considerar, em média, ocorrência de temperaturas internas a 28°C. Enquanto o grau médio acima da base de 27°C no ambiente externo corresponderia a 27.9°C. O dormitório 1 que possui orientação solar da principal abertura a norte, inércia térmica do piso advinda da pedra, e não é influenciado pelos ganhos térmicos da cobertura, apresentou o melhor desempenho térmico. O dormitório 1 apresentou quantidade de horas com temperaturas acima da base de 27°C inferiores aos outros ambientes e ao ambiente externo, além de ter tido um grau médio inferior aos outros ambientes, não chegando a 0.2°C acima de 27°C.

Nos meses de abril e dezembro na base de 25°C, ocorreram mais horas com temperaturas acima da temperatura base nos dormitórios do que no ambiente externo. Com exceção do dormitório 3, os dormitórios 1 e 2 apresentaram grau médio inferior ao grau médio externo. Isto demonstra que, existe um “achatamento” no pico de temperaturas do ambiente externo para o ambiente interno. Enquanto

externamente ocorreram menos horas com temperaturas acima desta base, mas com valores mais altos de grau médio, os ambientes internos apresentaram um maior número de horas com temperaturas acima da temperatura base, mas com um valor de grau médio inferior ao ambiente externo.

O dormitório 2 apresenta menor número de horas com temperaturas acima da base analisada e menor valor de grau médio, quando não está sendo ocupado.

As Figuras 8 e 9 mostram o número de horas e o grau médio das temperaturas externas e internas que foram inferiores as temperaturas base de 19°C e 17°C respectivamente.

Quando são analisadas temperaturas inferiores a uma temperatura base, o ambiente externo apresenta número de horas e grau médio, superiores aos ambientes internos. Isto é devido ao fato dos ganhos térmicos externos e internos dos ambientes, e o fato de que o horário de ocorrência das temperaturas mínimas externas normalmente ocorrerem no período noturno, quando a edificação está em geral, fechada.

Na análise por frio, o dormitório 2 que não possui plena ocupação durante todo o ano, apresentou número de horas e grau médio superior aos dos outros dois dormitórios. Um outro fato que faz com que este dormitório seja mais frio, é o fato de ter a orientação leste, protegida por um morro, e com isso, receba poucos ganhos térmicos solares externos, apesar deste ambiente se encontrar abaixo da cobertura.

Na base de 19°C, com exceção do mês de outubro, os outros nove meses apresentaram um melhor desempenho térmico para o dormitório 3 do que para o dormitório 1. Isto comparando o número de horas, visto que o grau médio foi muito parecido para os dois ambientes ao longo do período analisado. Apesar do dormitório 1 possuir inércia térmica, o dormitório 3 apresentou melhor desempenho térmico para o desconforto por frio devido aos ganhos térmicos no período vespertino (orientação oeste), além do fato de possuir lareira, que garante ganhos de calor interno para manter o ambiente com temperaturas mais elevadas.

Na base de 17°C (Figura 9) acentua-se ainda mais que o desconforto por frio é maior no ambiente externo. E um ambiente interno, mesmo sem ocupação, consegue evitar o frio. O ambiente externo no mês de junho, apresentou 401 horas com temperaturas inferiores a 17°C, e com um grau médio de 2.2°C, o que corresponderia a uma temperatura média de 14.8°C. O dormitório 2 neste mês apresentou 223 horas com temperaturas inferiores a 17°C, mas com grau médio de 1.1°C, o que corresponderia a uma temperatura média nestas 223 horas de 15.9°C.

O dormitório 1 apresentou 34 horas de desconforto nos meses de junho e julho, com grau médio respectivamente de 0.4°C e 0.6°C, o que corresponderia a uma temperatura média de 16.6°C e 16.4°C.

O dormitório 3 apresentou 32, 18 e 16 horas com temperaturas inferiores a 17°C nos meses de junho, julho e agosto, mas com um grau médio de 0.5°C, o que corresponderia a temperaturas médias internas de 16.5°C. No mês de agosto, onde provavelmente não foi acionada a lareira do dormitório 3, apareceram horas com temperaturas internas abaixo de 17°C, enquanto no dormitório 1 não ocorreu nenhuma temperatura interna abaixo desta base.

Apesar dos dormitórios 1 e 2 terem inércia térmica, os ganhos térmicos garantiram ao dormitório 3 um menor número de horas com temperaturas abaixo de 19°C.

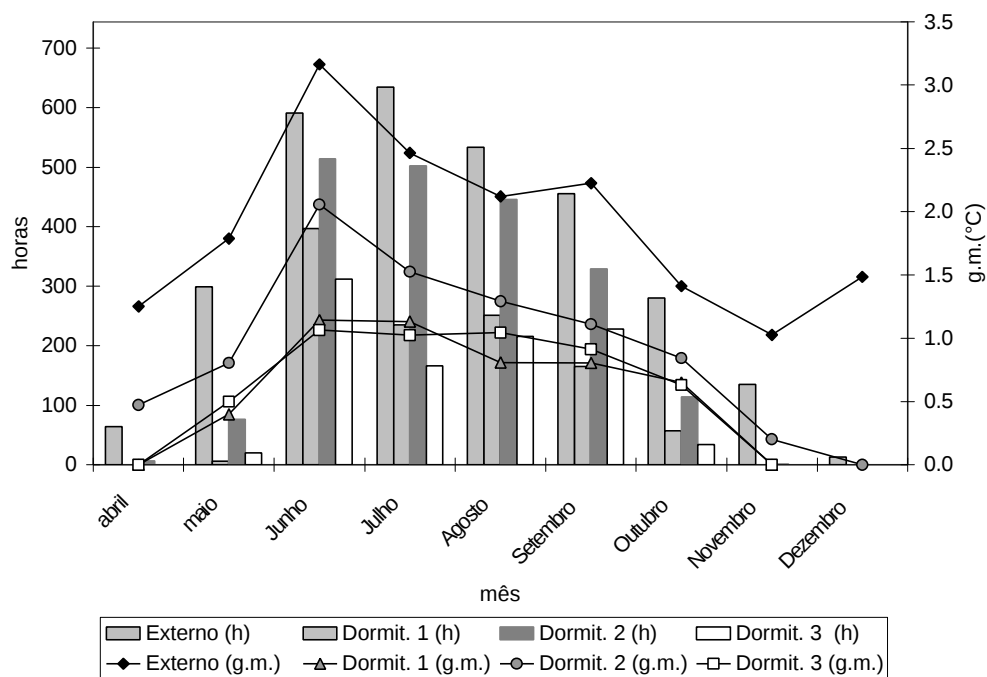


Figura 8 – Distribuição mensal de número de horas e grau médio abaixo da base de 19°C.

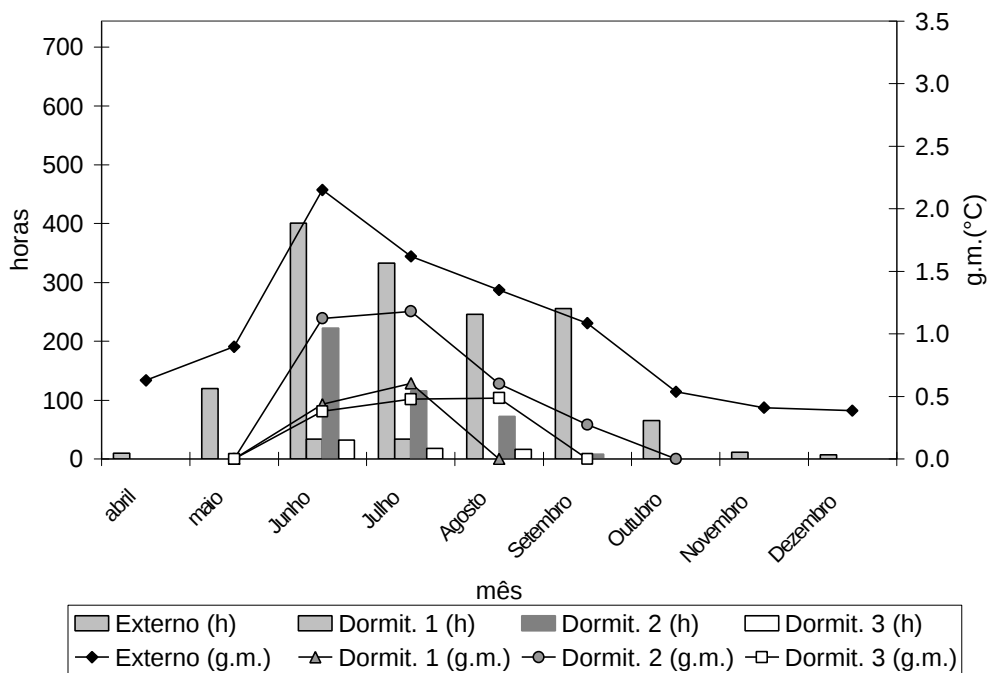


Figura 9 – Distribuição mensal de número de horas e grau médio abaixo da base de 17°C.

7. CONCLUSÃO

O conceito de graus hora é usualmente utilizado para dimensionar o consumo de energia de ambientes artificialmente condicionados. Enquanto a avaliação de ambientes naturalmente ventilados é sugerida pela ocorrência de temperaturas dentro de uma faixa de conforto ou número de horas fora da zona de conforto.

Os limites de temperaturas dentro de zonas de conforto nem sempre levam em consideração a aclimação dos usuários as condições climáticas. Da mesma forma, o efeito da ventilação sobre os ocupantes de um ambiente, faz com que os mesmos admitam temperaturas acima das temperaturas limites de conforto.

Este trabalho sugere o uso de diversas temperaturas base para avaliar o desempenho térmico dos ambientes. O conceito adotado para avaliação foi o número de horas que ocorreram acima da temperatura base, e o valor de grau médio de quantos graus (°C) excedeu o limite sugerido.

Três ambientes de uma mesma residência foram avaliados e comparados usando o conceito de grau médio e horas acima de uma temperatura base para avaliar a metodologia sugerida. A combinação destes dois conceitos, serviu para mostrar que analisar apenas o número de horas não demonstra o quanto em média, as temperaturas estariam acima da temperatura base. O grau médio permite esta avaliação. É importante verificar e avaliar o desempenho térmico usando estes dois conceitos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, Miriam J. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares**. Florianópolis, 1997. 274p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

BRAGER, G. S. e DEAR, R. J. A standard for natural ventilation. **Ashrae Journal**, v. 42 nº 10, p 21-28, 2000.

IPT. Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social. P.35-47, sem data.

PAPST, Ana L. **Uso de inércia térmica no clima subtropical, estudo de caso em Florianópolis – SC**. Florianópolis, 1999. 165 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

RAJA, I. A., NICOL, J. F., McCARTNEY, K. J. Natural ventilated buildings: use of controls for changing indoor climate. **Renewable Energy**, v.15, p.391-394, 1998.

RAJA, I. A., NICOL, J. F., McCARTNEY, K. J., Humphreys, M. Thermal comfort: use of controls in naturally ventilated buildings. **Energy and Buildings**, v.33, p.235-244, 2001.

SZOKOLAY, S. V. Thermal design of Houses for Warm-Humid Climates. In: Plea 96 Building & Urban Renewal. **Anais...** Louvain-La-Neuve: 1996. p. 337-342.

SZOKOLAY, S. V. Approaches to tropical house design. In: II Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 1999, Fortaleza. **Anais....** Fortaleza: 1999. 1 CD.