



AQUECIMENTO DE PISOS: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ESTUDO TEÓRICO DO DESEMPENHO EM REGIME TRANSITÓRIO SOB CUSTO DE ENERGIA VARIÁVEL NO TEMPO

Aloísio Leoni Schmid; Caroline Bollmann; Rafaela Antunes Fortunato; Silvana Bastos Stumm; Daniele Zwirtes (1), Samuel Soares Ansay (2); Mauro César Pereira (3)

(1) Programa de Pós-Graduação em Construção Civil –PPGCC – UFPR
C.P.19011/DAU, 81.531-990 Curitiba-PR (iso@ufpr.br)

(2) CEFET-PR e Progr. de Pós-Graduação em Eng. Mecânica – PGMEC - UFPR;

(3) Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em Engenharia – PIPE - UFPR.

RESUMO

No aquecimento de ambientes, a colocação de fontes de calor junto ao piso apresenta diversos aspectos vantajosos sobre outras configurações geométricas, justificando sua adoção preferencial em países mais frios da Europa, além da Coreia. Para que o mesmo sistema seja utilizado nas regiões mais frias do sul do Brasil é necessário conhecer seu comportamento e suas diferentes sensibilidades sob condições de clima e políticas tarifárias em vigor na região. Questões oportunas dizem respeito à possibilidade de aproveitamento da energia de fora da ponta, num sistema elétrico, e da energia solar, num sistema a água. Um modelo para simulação do desempenho é apresentado aqui e algumas simulações são realizadas. Encontra-se pouca influência da profundidade do sistema de aquecimento na laje de piso, mas razoável influência da espessura desta, em especial ao se utilizar aquecimento solar, que requer armazenamento da energia térmica obtida em taxa desigual ao longo do dia. O aquecimento elétrico poderia receber relevante racionalização mediante a compra de energia, sob tarifa reduzida, fora do horário de pico. Em geral, o aquecimento solar mostra-se mais eficiente quando combinado com o aquecimento elétrico.

ABSTRACT

Indoor floor heating shows several advantages over other geometrical configurations, thus being preferred in the coldest countries in Europe and also in Korea. Adoption of this system in Southern Brazil might require mastery of its behavior and knowledge of its particular sensitivities under regional conditions of climate and electric tariff policies. Two relevant questions arise and require a more detailed investigation: the use of off-peak energy and the use of solar heat. A mathematical model for simulation of performance is presented and some simulations are done. There is only a small influence of the depth of heating pipes or lines in the floor. However, floor thickness proves an important factor, particularly under solar heating, which requires the irregularly gained heat to be stored. Electric heating could benefit from cheaper off-peak energy. In general, solar heating proves more efficient when combined with electrical heating.

1 - INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta e discute o sistema de aquecimento de pisos, que constitui importante alternativa para a obtenção de conforto térmico, em especial nas residências. Apesar de sua simplicidade, implica em cuidado no projeto, escolha da fonte de calor e sua estratégia de controle, seleção de materiais e dos detalhes construtivos. Entretanto, de importância fundamental é a compreensão do conceito do aquecimento de piso. A mesma é implementada em modelos simplificados do desempenho térmico de uma edificação que utiliza tal sistema e de aquecedores solares de água. Como exemplo, é considerada a situação no clima de Curitiba.

A seguir, após breve revisão histórica sobre o uso deste sistema e uma descrição de suas principais vantagens, é tratada a seguinte questão: como conciliar o potencial de armazenamento térmico das edificações com o regime de produção de calor de duas fontes, solar e elétrica, considerando a tarifação horo-sazonal? O objetivo do trabalho é obter diretrizes básicas de projeto e operação, de modo a realizar as vantagens intrínsecas do conceito. O método utilizado é a experimentação numérica.

Os registros mais remotos da utilização de piso aquecido remontam aos anos 100 A.C., quando era utilizado pelos coreanos. O calor proveniente do fogo mantido abaixo da laje do piso, na parede oposta, era usado para aquecer a massa deste mesmo piso (Figura 1). Um sistema semelhante, conhecido por hipocausto, também foi utilizado pelos romanos mais ou menos na mesma época e é encontrado nas ruínas.

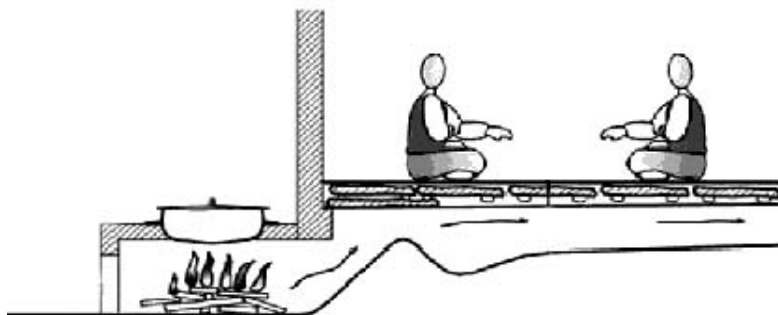


Figura 1 – Sistema utilizado na Coréia desde 100 A.C. adaptado de Song (2004)

Na história mais recente tem-se o arquiteto Frank Lloyd Wright como um importante incentivador, responsável pela introdução desta técnica por volta de 1930, nos Estados Unidos. Na Europa Central, o aquecimento de pisos por tubulação de água quente tem início no ano de 1950. Pode-se falar em maturidade tecnológica a partir dos anos 70 conjugada à melhoria do isolamento térmico das edificações. Após o ano 2000, já era encontrado em 30% a 50% das novas residências na Alemanha, Áustria e Dinamarca. É notável a utilização do aquecimento de piso na Coréia, encontrado em 90% das residências (Olesen, 2002).

A utilização de piso aquecido remonta somente aos anos 90 no Brasil. A necessidade de aquecimento artificial ocorre em partes da região Sul, de clima temperado, com importante oscilação térmica ao longo do ano e ainda exposta, quase o ano inteiro, às bruscas mudanças de tempo causadas pelo advento de massas de ar polares (Nimer, 1989). Em grande parte da região existe pelo menos um mês com temperatura inferior à média de 15 °C e, em quase 50% dele, ocorre o frio abaixo de 13 °C.

O aquecimento de pisos é uma modalidade de fonte interna de calor caracterizada, principalmente, pela uniformidade de distribuição da temperatura e eficiência na obtenção de uma sensação térmica favorável (Olesen, 2002; Bokzir & Canbazoglu, 2004). A temperatura do ar num ambiente é o resultado do estabelecimento de um equilíbrio térmico condicionado aos aspectos geométricos da edificação, às propriedades físicas dos materiais e às fontes de calor presentes no interior da edificação. A estabilidade na temperatura interna pode ser obtida mediante conjugação do controle das perdas de calor, do seu armazenamento na massa da construção e do gerenciamento da produção interna de calor ao longo do tempo.

Os pisos aquecidos apresentam efetiva melhora de uma propriedade do ambiente: sua temperatura radiante expressa a influência da temperatura das superfícies dos recintos sobre a sensação térmica das pessoas presentes. Com respeito à transmissão de calor por contato, diversos estudos sobre a sensação térmica das pessoas, dependendo de seu calçamento, sobre materiais como concreto e pedra, foram sintetizados e comentados por Fanger (1982).

O mais importante diferencial do aquecimento de piso em relação a outros sistemas, conforme Wirsbo (2001), é a temperatura constante do ambiente. O ar aquecido pelo piso torna-se menos denso que o ar frio e sobe. Dando continuidade ao ciclo, o ar frio desce e é aquecido. Essa circulação de ar proporciona a todo o ambiente um aquecimento uniforme. É notável a diferença em relação a um

sistema onde o aquecimento se dá por uma das paredes verticais como ocorre, por exemplo, na parede Trombe e em suas variações (Schmid, 1993).

O processo de aquecimento por piso radiante resulta em menor transporte de poeira se comparado ao sistema convectivo, além de reduzir a incidência de ácaros - pois dispensa o uso de carpetes - proporcionando qualidade ao ar interno (Olesen, 2002). Por tais características, Rekstad et al. (2002) ressaltam que o aquecimento de piso é reconhecido e incentivado pelas autoridades da saúde como o maior conforto de aquecimento. Olesen (2002) relaciona algumas outras vantagens dos sistemas de aquecimento de piso: melhor aproveitamento do espaço, dispensa de limpezas periódicas e ausência de ruído, especialmente no caso de não utilizarem dutos.

Existem duas desvantagens notáveis do sistema de aquecimento de pisos: controle e custo. Um sistema de aquecimento radiante exige controle rigoroso das diferenças de temperatura externa e interna para funcionar de maneira eficiente e eficaz. Apresenta, também, custo maior de instalação (Olesen, 2002). Esse fato tende a se agravar no Brasil, por ser pouco difundida a utilização desse tipo de sistema.

2 - TIPOS DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE PISOS

Existem diversas maneiras de se aquecer um ambiente através do piso. Os sistemas mais usuais utilizam em seu processo tubulações por onde circula água quente ou cabos elétricos, além de serem conhecidos os sistemas por fluxo de ar quente.

O sistema de aquecimento radiante por fluxo de ar quente é considerado seguro e pode ser satisfatório para residências com um bom nível de isolamento, presentes em condições de climas médios, devendo-se ampliar o isolamento quanto mais rigoroso for o clima. Representa alternativa ao aquecimento de piso por água quente e elétrico (Bozkir e Canbazoglu, 2004).



Figura 2 – Painéis elétricos radiantes; fonte: Wattsradiant (2004)

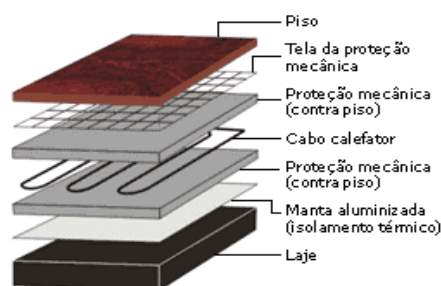


Figura 3 - Detalhe construtivo do sistema; fonte: Hotfloor (2004)

O sistema de aquecimento elétrico é feito com o uso de um cabos dispostos em forma de serpentina dentro do contrapiso (figura 2). O cabo se aquece, transmitindo o calor para o piso, e desse para o ar. Um termostato, programado para deixar o ambiente com uma temperatura mínima, é acionado em dias frios. Os fabricantes indicam que o consumo de energia pode chegar a 100 W/m^2 . Este sistema facilita o controle de cada ambiente independentemente, otimizando o orçamento e minimizando os custos relacionados ao consumo de energia. Quanto à instalação Athienitis (1997), aponta a necessidade de assentar os painéis elétricos radiantes sobre um isolamento térmico (figura 3).

O sistema de aquecimento radiante mais utilizado é aquele por circulação de água quente sob o piso (Olesen, 2002). Sua principal vantagem é a possibilidade de ser mantido por diversas fontes de energia, dentre elas: gás, eletricidade, bombas de calor elétricas e energia solar. Tem-se afirmado o polietileno reticulado (PEX) como material mais durável para os tubos instalados no contrapiso. Água quente circula por esses tubos, à temperatura normalmente entre 25 e $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Este sistema inclui dois trocadores de calor: entre a fonte de calor e a água e entre a água e o ambiente. Parâmetros e projeto importantes são o diâmetro dos tubos, seu distanciamento entre si, a velocidade e o regime do escoamento, e o *lay-out* da tubulação (Olesen, 2002).

3 - MATERIAIS PARA REVESTIMENTO DO PISO AQUECIDO

As temperaturas impostas pelo sistema não chegam a constituir ameaça aos materiais usuais de revestimento. Todavia, a condutividade térmica e a emissividade desses afetam o desempenho do sistema (Olesen, 2002). Materiais mais condutivos permitem mais rápida resposta do piso e requerem menor temperatura. Permitem, ainda, melhor desempenho das lajes enquanto reservatórios de calor. Entretanto, a sensação tátil do material tem influência sobre o conforto térmico quando o sistema está desligado, pois os diferentes materiais têm diferente efetividade em retirar calor do corpo por condução. Além de variáveis do usuário como sua posição (sentado, em pé ou caminhando) e características do calçado e meia, tem importância a difusividade térmica da camada de revestimento.

Nos trabalhos de Elder & Vandenberg (1977), pode-se encontrar uma classificação dos revestimentos usuais segundo a sensação térmica causada, mantidas uniformes as mesmas condições ambientais. São considerados revestimentos frios: cerâmica, pedra natural, piso à base de cimento, piso metálico e vinil em placas. Como revestimentos levemente frios tem-se a madeira e o vinil em mantas. Os revestimentos têxteis são classificados como quentes.

Fanger (1982), apresentou uma classificação de materiais de acordo com a mínima e a máxima temperaturas suportadas pelos pés descalços sobre as mesmas. Por exemplo, tolera-se entre -140°C e $+150^{\circ}\text{C}$ sobre um piso de cortiça; já sobre o concreto, os limites são $+4$ e $+54^{\circ}\text{C}$ e, caso extremo, uma chapa de aço, 14°C e 45°C . Nesse sentido, especialmente nos sistemas de aquecimento de piso a água quente, recomenda-se evitar pisos com alta resistência térmica, como carpetes, por obrigarem uma maior temperatura da água. Isto reduz a eficiência da operação de aquecimento da água (Olesen, 2002). Bokzir & Canbazoglu (2004) indicam a utilização de cerâmicas e mármore, pois tais materiais são mais eficientes pelo fato de possuírem um alto coeficiente de transferência de calor por condução.

4 - APLICABILIDADE NA REGIÃO DE CLIMA TEMPERADO NO BRASIL

As hipóteses adotadas pelos vários autores consultados refletem condições climáticas específicas, assim como condições particulares de oferta de energia. O fato do sistema de aquecimento de piso existir associado a um reservatório de calor – o pavimento no qual está inserido – permite consideração de dois potenciais fatores de economia específicos às condições da região Sul do Brasil: as tarifas horossazonais e a insolação de inverno.

As tarifas horossazonais têm sido propostas e testadas como medida de nivelamento da curva de carga do sistema elétrico. Uma proposta em testes no Paraná é de uma tarifa, no horário de pico (das 18h às 21h), 200% acima da tarifa média, e, fora do horário de pico, reduzida em 60%. Seria necessário conhecer o comportamento de um sistema de aquecimento elétrico que fosse desligado no horário de pico, esclarecendo se há necessidade de armazenamento térmico especial. Já a distribuição de radiação solar é tal que, no inverno, nos locais de maior latitude no Brasil, se apresenta abundante. Essa fonte natural de aquecimento pode ser aproveitada em coletores com circulação de água quente corretamente orientados.¹ Isso requer estudo específico de modo a dimensionar o armazenamento térmico e, ainda, avaliar a possibilidade da radiação solar recebida durante o dia, vir a suprir a falha de um sistema baseado em energia elétrica que, no horário de pico, seja desligado.

4.1 Desenvolvimento do modelo de zona única

Para avaliar a viabilidade econômica do aquecimento de piso sob variação dos parâmetros acima mencionados, foi desenvolvido um modelo matemático próprio. É um sistema do tipo concentrado, equivalente aos circuitos elétricos RC. Uma zona única tem nó de temperatura correspondente ao espaço interno da edificação e seu equilíbrio energético é representado pela equação (1). Ainda, foi tomado um nó na superfície da laje de piso, cujo equilíbrio energético é representado pela equação (2), e outro ainda representa o ponto central do corpo de aquecimento (serpentina ou resistência elétrica). É representado pela equação (3). Na hipótese de aquecimento por circulação de água, trata-se do ponto a

¹ Entre o Norte e Oeste, com inclinação superior à latitude do local em cerca de 10°

que se aplica a diferença média logarítmica de temperatura entre o fluido na entrada da serpentina, o fluido na saída da serpentina e o ambiente. As três equações são:

$$T_i [^{\circ}\text{C}] = \frac{q_i + q_{\text{laje}} + \frac{T_e}{R_{i,e}} + \frac{T_{i(t-1)} \times C_{i,e}}{\Delta t}}{\frac{1}{R_{i,e}} + \frac{C_i}{\Delta t}} \quad (1)$$

$$T_{\text{laje}} [^{\circ}\text{C}] = \frac{q_{\text{laje}} + \frac{T_i}{R_l} + \frac{T_{\text{laje}(t-1)} \times C_{\text{laje}(1)}}{\Delta t}}{\frac{1}{R_l} + \frac{C_{\text{laje}(1)}}{\Delta t}} \quad (2)$$

$$T_s [^{\circ}\text{C}] = \frac{q_{\text{laje}} + \frac{T_{\text{laje}}}{R_{s,l}} + \frac{T_{s(t-1)} \times C_{\text{laje}(2)}}{\Delta t}}{\frac{1}{R_{s,l}} + \frac{C_{\text{laje}(2)}}{\Delta t}} \quad (3)$$

Onde:

T_i = Temperatura interna

T_e = Temperatura externa

$T_{i(t-1)}$ = Temperatura interna no instante anterior

q_i = calor interno produzido espontaneamente

q_{laje} = calor produzido pela laje

$R_{i,e}$ = resistência térmica entre o interior e exterior através das janelas e paredes

$C_{i,e}$ = capacidade térmica entre o interior do ambiente e o exterior

Δt = intervalo de tempo considerado na simulação

T_{laje} = Temperatura da laje

$T_{\text{laje}(t-1)}$ = Temperatura da laje no instante anterior

R_l = resistência térmica da laje

$C_{\text{laje}(1)}$ = capacidade térmica da laje acima do sistema de aquecimento

T_s = Temperatura do sistema de aquecimento

$T_{s(t-1)}$ = Temperatura do sistema de aquecimento no instante anterior

$R_{s,l}$ = resistência térmica entre o sistema de aquecimento e a laje

$C_{\text{laje}(2)}$ = capacidade térmica da laje abaixo do sistema de aquecimento

Os dados de uso da edificação consideram a taxa de ventilação do ambiente em m^3/s , incorporada à resistência térmica entre o interior e o exterior, e o calor interno produzido espontaneamente (pessoas, iluminação e outros aparelhos). Os dados climáticos, por sua vez, referem-se à temperatura externa média e à amplitude da temperatura externa. Os valores representativos da temperatura externa, utilizados na simulação, são referentes à cidade de Curitiba – PR, e foram extraídos de Goulart et al. (1998). A cidade apresenta uma temperatura média diária variando entre 13°C a 22°C , possuindo invernos rigorosos (Simepar, 2004). Seu regime térmico pode ser considerado como mesotérmico brando, de inverno bastante sensível, com temperaturas muitas vezes abaixo de 13°C . (Nimer, 1989). O período de simulação é referente a um intervalo de tempo de 24 horas; a partir dos valores de temperatura contidos neste intervalo a amplitude da temperatura externa é definida.

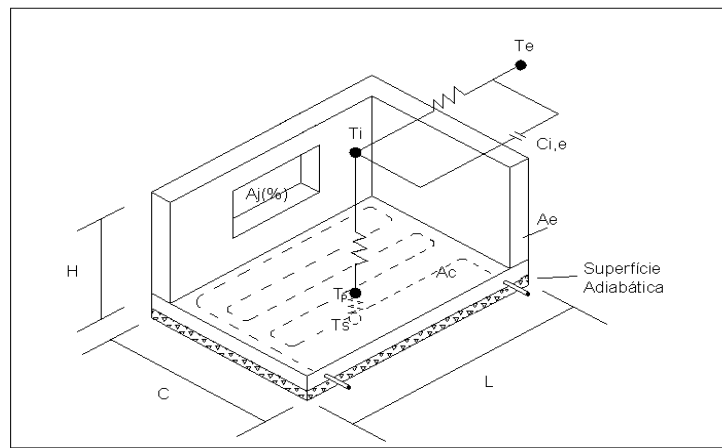


Figura 4 - Esquema do ambiente utilizado na simulação. $A_j(\%)$ = Percentagem de janelas, A_e = Área externa, A_c = área de piso.

O modelo de simulação considera a potência horária de aquecimento que pode ser solar ou artificial. Em planilha eletrônica Microsoft Excel, soluciona um sistema de três equações para determinar a temperatura interna (T_i), a temperatura da laje (T_{laje}) e a temperatura no corpo aquecedor (T_s), que no caso de aquecimento elétrico é a resistência elétrica, e para o sistema de aquecimento solar é a temperatura externa do tubo. Para o caso de aquecimento solar, o modelo ainda fornece os valores da temperatura média de entrada e saída da água.

4.2 Simulações e resultados

A partir do modelo criado para simulação, foram efetuados vários testes buscando determinar o perfil de funcionamento do sistema de aquecimento por piso radiante.

Para as simulações foi considerado um ambiente padrão com 10m de comprimento por 10 metros de largura e com altura de 2,5m. Este ambiente possui paredes com 15cm de paredes e uma área de janelas externas de $15m^2$. Foi considerada também uma função harmônica que gerou valores de temperatura externa entre os valores máximo e mínimo de um dia típico da cidade de Curitiba.

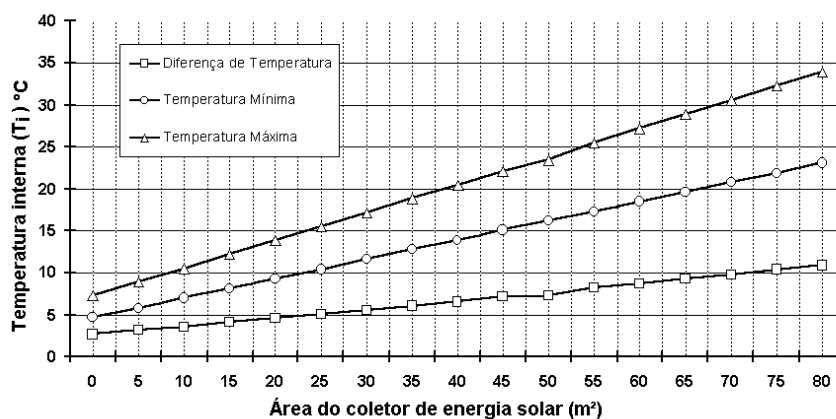


Figura 5 – Temperatura interna: valores diários extremos em função da área do coletor solar

Para aquecimento do piso radiante foram consideradas três situações: aquecimento elétrico, aquecimento solar, e um sistema misto elétrico-solar.

Nas simulações do sistema de aquecimento solar, foram considerados um sistema com painéis coletores de energia solar e distribuição de calor por meio de água quente através de tubulações na laje

do piso. A velocidade de circulação da água considerada foi de 5m/s em uma tubulação de 20mm de diâmetro. Para esta simulação variou-se a área de coletores e a profundidade da tubulação na laje.

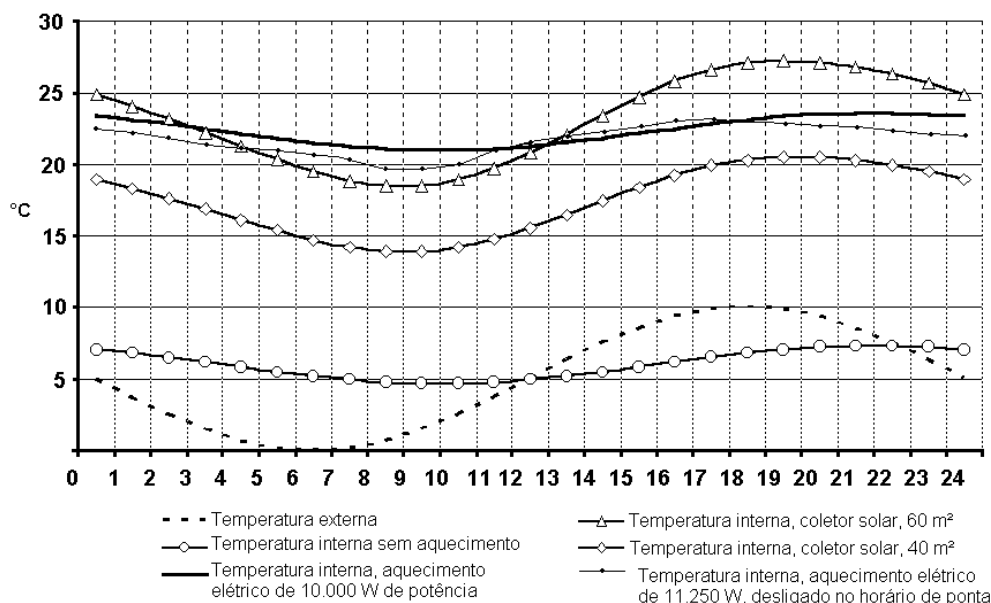


Figura 6 - Marcha de temperatura do ambiente com aquecimento elétrico do piso e outros casos

Na Figura 5 foram consideradas áreas de coletor solar de 5 a 80 m², variando-se de 5 m² em cada passo da simulação. Foi considerado ainda um arranjo dos tubos em S de 200 mm entre as linhas, a uma profundidade de 100 mm em uma laje de espessura de 200 mm. A temperatura interna resultante da simulação encontra-se no gráfico que apresenta as temperaturas mínimas e máximas para cada área de painel solar, bem como a diferença entre estes valores. Deste gráfico podemos concluir que a temperatura interna tem uma variação linear em função da área do coletor solar.

Para o sistema de aquecimento elétrico foi considerado que a resistência elétrica se encontra dentro da laje sem um sistema auxiliar para distribuição do calor, como a água no sistema solar. Para o sistema elétrico foi considerada uma potência de 10.000 W, consumindo 240 kWh diários.

Na Figura 6 está a temperatura interna resultante da simulação do sistema elétrico. Para fins de comparação neste gráfico também estão as temperaturas do sistema de aquecimento solar com área de 40 e 60 m² e do ambiente sem nenhum tipo de aquecimento. Pode-se observar que a variação da temperatura no sistema elétrico é muito pequena, enquanto que os sistemas de aquecimento solar apresentam uma variação bem maior, apresentando uma temperatura interna menor. A temperatura média obtida é de 22,2°C, e a mínima de 21,1°C.

Analisou-se o efeito do desligamento do sistema entre 18 e 21h (horário de pico). Tal comparação faz sentido se for mantido o consumo diário. Assim, sobe-se a potência de aquecimento em 12,5% para 11250 W. Resulta temperatura média de 22,0°C e mínima de 20,9°C, logo com variações menores que 1% com respeito à situação anterior. Este fato decorre da curva de temperatura externa apresentar um máximo entre o meio e o final da tarde; se considerada a inércia térmica da edificação, o horário de pico se torna aquele em que o aquecimento elétrico é menos necessário.

Para diminuir a amplitude desta temperatura, tentou-se aumentar a inércia térmica do sistema, mediante aumento da profundidade da tubulação na laje, e também aumento da espessura da laje.

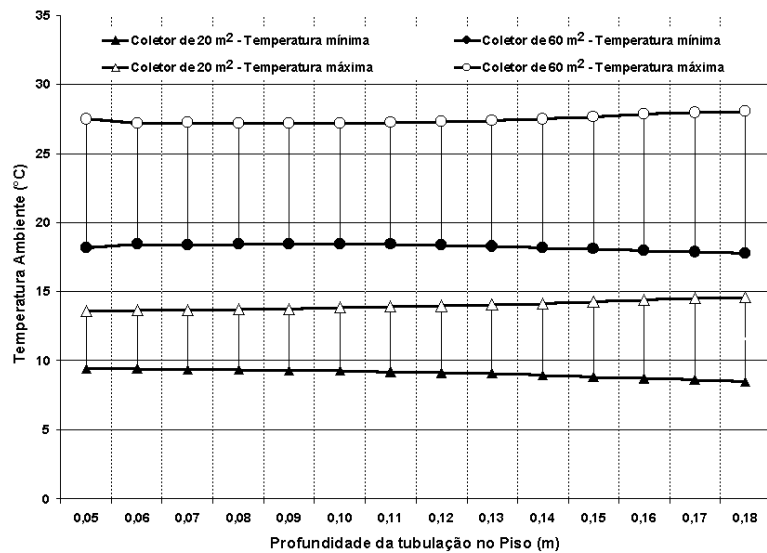


Figura 7- Temperatura interna: extremos diários em função da profundidade da tubulação

A Figura 7 mostra as temperaturas mínimas e máximas para um coletor de 20 m² e para um coletor de 60 m², em função da variação da profundidade da tubulação na laje. Da análise deste gráfico pode se verificar a pouca eficiência desta medida para a melhoria da qualidade da temperatura interna.

Para diminuir a amplitude da temperatura interna, o aumento da espessura da laje mostrou-se mais eficiente. Nesta simulação a profundidade da tubulação foi mantida em 100 mm (Figura 8).

A menor amplitude de temperatura interna, cerca de 3°C, foi obtida por meio de aquecedores elétricos, que apresentam alto custo operacional. Para o sistema de aquecimento por energia solar a menor amplitude de temperatura interna, cerca de 4°C, foi obtida com uma laje de espessura em torno de 360 mm, que possui um alto custo de instalação e pode se tornar inviável quando somada ao custo da estrutura para suportá-la (Figura 9).

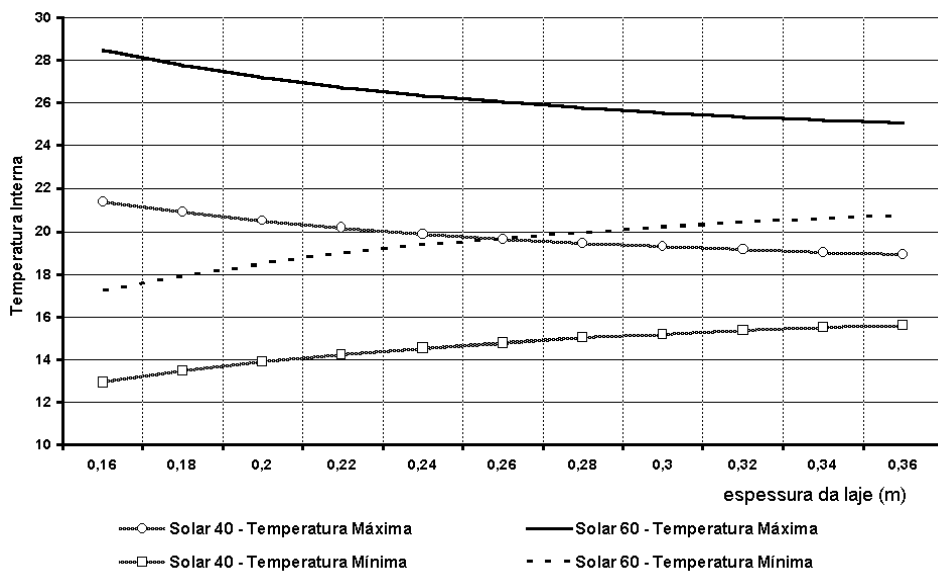


Figura 8 - Temperatura interna: valores extremos em função da espessura da laje

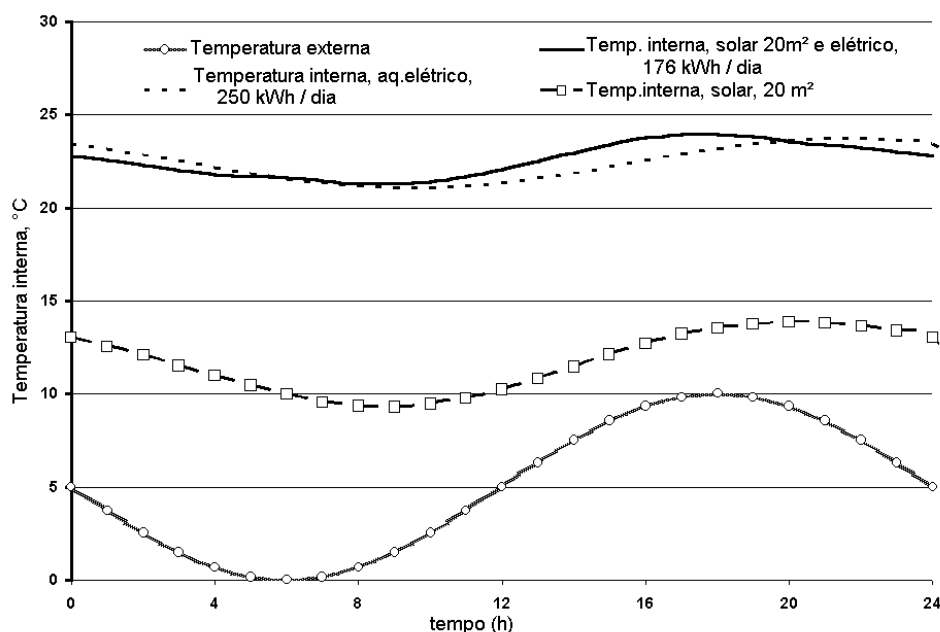


Figura 9 - Temperatura interna para diferentes estratégias de aquecimento do piso

Um sistema misto surge como solução. Nesta configuração são utilizadas uma área de coletores solares de 20 m² e uma resistência elétrica com uma potência elétrica de 16.000 W. A distribuição de calor é feita por meio de água quente através de tubulação dentro da laje. Uma grande vantagem deste sistema é que a instalação elétrica figura como sistema auxiliar, para os intervalos em que o sistema de aquecimento solar não é operacional, durante a noite ou em dias nublados.

Neste sistema, conforme o gráfico, ocorre a mesma variação de temperatura ambiente que o sistema elétrico, cerca de 3°C, porém a energia despendida é de 176 kWh/dia, 30% menos que o sistema puramente elétrico, e possui um painel 3 vezes menor, 20 m², que o sistema com aquecimento puramente solar, resultando em economia na instalação do sistema.

6. CONCLUSÃO

Foi apresentada uma revisão da história e da tecnologia em pisos aquecidos. Mediante simulação numérica, foram analisadas duas possibilidades de racionalização energética: uma delas dada pelo aproveitamento da energia solar, e a outra, pela aplicação da tarifa horo-sazonal.

A energia solar, sem um reservatório de água quente, promove ao longo do dia um aquecimento desigual. Compensação mediante inércia térmica exigiria espessuras exageradas da laje.

A fonte elétrica, considerada sua restrição no horário de pico, demonstrou complementaridade em relação à fonte solar. Ao final da tarde, o calor do sol acumulado no piso poderia compensar o desligamento da fonte elétrica. Recomenda-se uma solução híbrida elétrico-solar, a ser ainda otimizada, considerando-se a composição de custos – de investimento e energéticos.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às empresas Aquamec e Eurocable Sistemas de Calefação, ambas em Curitiba, pelas informações disponibilizadas, assim como pela oportunidade de uma visita técnica. Agradecem ainda às empresas Hotfloor, Ambiluf, Wisbro pelos materiais, manuais técnicos e informações gerais disponíveis nos respectivos sítios, úteis ao desenvolvimento deste trabalho.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATHIENITIS, A.(1997) *Investigation of thermal performance of a passive solar building with floor radiant heating*. **Solar Energy**, vol. 61, n. 5, p. 337-345.
- BOZKIR, O., CANBAZOGLU, S. (2004). *Unsteady thermal performance analysis of a room with serial and parallel duct radiant floor heating system using hot airflow*. **Energy and Buildings**, Elsevier, v. 36, p. 579-586.
- ELDER, A.J. & VANDENBERG (1977). *Moritz Construcción*. H. Blume Ed., (Manuales AJ), Madri.
- FANGER, P.O. (1982). *Thermal Comfort – Analysis and Applications in Environmental Engineering*, Robert Krieger Publishing Co., Malabar, Florida.
- GOULART, S., LAMBERTS,R., FIRMINO, S. (1998). *Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras*, 2ª. edição, Eletrobrás, Rio de Janeiro.
- HOTFLOOR (2004). Disponível em < <http://www.hotfloor.com.br> > Acesso em 11/2004.
- NIMER, E (1989). *Climatologia do Brasil*. 2º ed..IBGE, Rio de Janeiro.
- OLESEN, B. W.(2002). *Radiant floor heating: in theory and practice*. **ASHRAE Journal**, p. 19-26.
- REKSTAD J.; MEIR, M.; KRISTOFFERSEN, A. R.; Control and metering in low temperature heating systems. **Energy and Buildings**, v. 35, p. 281-291, 2003
- SCHMID, A.L. (1993). *Numerical analysis on heat transfer and turbulent fluid flow in a solar building*, dissertação de mestrado, Universidade de Utsunomiya (Japão), Utsunomiya.
- SIMEPAR (2004). Disponível em: < <http://www.simepar.br> > Acesso em 11/2004.
- SONG, G. (2004). *Buttock responses to contact with finishing materials over the ONDOL floor heating system in Korea*. **Energy and Buildings**, vol, 37, p. 65-75.
- WATTSRADIANT (2004). Disponível em: <<http://www.wattsradiant.com>> Acesso em 24/11/2004.
- WIRSBO (2004). *Manual técnico*. Disponível em: <<http://www.wiesbo.es>> Acesso em 11/2004.