



ENTAC2006

A CONSTRUÇÃO DO FUTURO | XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

MONITORAMENTO DE ESCOLA DE ARTESANATO COM USO DE VENTILAÇÃO NATURAL ATRAVÉS DE DUTOS ENTERRADOS EM VIAMÃO – RS

Diego Boschetti Musskopf (1); Miguel Aloysio Sattler (2)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil – e-mail: diego_musskopf@yahoo.com.br

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil – e-mail: sattler@ufrgs.br

RESUMO

Proposta: o uso do solo como massa de inercial para condicionamento térmico de edificações, tal como as adegas italianas, é uma prática antiga. Seu uso, porém, como trocador de calor com dutos enterrados para ventilação natural de edificações é recente. A prática consiste em enterrar dutos a profundidades entre 0,5m e 1,5m - com extensões e diâmetros variáveis – onde o ar circula do exterior para o interior dos ambientes por convecção natural. Durante o trajeto, o ar troca calor com o solo e ingressa no ambiente a temperaturas mais amenas. Embora seja um sistema já empregado na arquitetura bioclimática, existem poucos estudos conclusivos sobre a sua real eficácia. O objetivo do trabalho é investigar os benefícios da ventilação natural por dutos enterrados em edificações no sul do Brasil. **Método de pesquisa / Abordagem:** o estudo foi realizado através de monitoramento de uma edificação e do sistema de dutos em um protótipo construído em Porto Alegre (Brasil – 30°01'59"S, 51°13'48"W) no período de verão. Foi estudada a influência do diâmetro, inclinação e orientação dos dutos. **Resultados:** os resultados demonstram que o sistema é eficiente para o condicionamento térmico da edificação. O solo a pequenas profundidades apresenta uma temperatura mais estável que o ar, próxima a média anual de temperatura (20°C em Porto Alegre). Dessa forma, ao passar pelo duto, o ar externo é aquecido nos períodos frios e refrigerado nos períodos quentes, mantendo o ar interno próximo da zona de conforto.

Palavras chave: tubos enterrados, ventilação natural, condicionamento térmico passivo.

ABSTRACT

Proposal: the ground usage as inertial mass for thermal buildings conditioning, such as the Italians cellars, is an old practical. However, its use as heat exchanger with buried pipes for natural indoor ventilation is quite recent. The system uses pipes with variable extensions and diameter buried between 0,5m and 1,5m deep. The air flows through the pipes from the outside to the inside by a natural way: convection or wind effects – pressure and depression zones. Although it's already a bioclimatic architecture system, there are a few conclusive studies about its real effectiveness. The objective of this paper is to investigate the benefits of natural ventilation through buried pipes in edifications at south Brazil. **Method:** A prototype edification and buried pipe system have been built and measured at the summer in Porto Alegre / Brazil (30° 01'59"S, 51°13'48"W). The influence of the pipes diameter, inclination and orientation has been studied. **Results:** The system is efficient for thermal building conditioning and air renovation. At small depths, the ground presents a more steady temperature than the air, close to the annual average of temperature (20°C at Porto Alegre), cooling the air during the hot days warming it at cold nights – a similar effect is expected on year time periods.

Keywords: buried pipes, natural ventilation, passive cooling.

1. INTRODUÇÃO

O uso da energia geotérmica remonta aos primeiros povos, principalmente nas regiões onde o calor telúrico aflora à superfície ou em regiões de clima severo (OLIVEIRA, 200_; FIGUEIREDO, 200_; JACOVIDES et alli, 1996 e WEIMER, 1992) e manteve seu uso em diferentes tempos da história e em diferentes partes do mundo. Importantes habitações subterrâneas em vilas e comunidades desenvolveram-se na região do Mediterrâneo (MIHALAKAKOU et alli, 1992) e suas aplicações no período moderno foram descritas em diversos trabalhos (JACOVIDES et alli, 1996). Seu uso contemplava propósitos recreativos, terapêuticos e de adaptação ao meio (PESCE, 2003).

Na Idade Moderna, inicia-se o uso de vapores proveniente de fontes termais para a produção de produtos químicos derivados do ácido bórico na região de Larderello (Itália), hoje conhecida como Boraciferous. Com o tempo, o processo se desenvolveu e as fontes passaram a ser aproveitadas na geração de energia elétrica (PESCE, 2003). Durante o século XX, porém, a grande oferta de combustíveis fósseis e o baixo entendimento dos seus resultados prejudiciais ao meio ambiente, tornaram inviável o desenvolvimento de qualquer outra fonte energética. Até a década de 60 quando o petróleo deu seus primeiros sinais de crise, a tecnologia da energia geotérmica ficou estagnada e restrita aos locais tradicionais de uso. Após os choques políticos e econômicos gerados, a crise mostrou a fragilidade do sistema econômico-energético vigente. Essa visão aliada ao desenvolvimento de uma consciência de proteção ao meio ambiente criou o campo necessário para que as tecnologias limpas voltassem a ser atrativas. Hoje, sistemas geotérmicos são uma alternativa às plantas de energia por queima de combustível fóssil, por fissão nuclear e por outros meios. (PESCE, 2003).

No campo da construção, no mesmo período, retomou-se o desenvolvimento de técnicas para explorar o calor do solo a baixas temperaturas e seu uso, como aquecedor ou refrigerador da edificação, tem tido um crescente interesse durante as últimas quatro décadas (JACOVIDES et alli, 1996). Hazer (1975) coloca que duas estratégias são definidas: o contato direto com a terra que compreende enterrar parte ou totalmente a edificação e o contato indireto que envolve o uso de tubos enterrados onde o ar interior é forçado a circular ou o exterior passa antes de ser injetado na edificação.

O uso do solo por contato indireto é bastante recente e ainda pouco difundido embora suas inúmeras vantagens (FISK; TURIEL, 1995). Foram reportados sistemas que garantem 100% do resfriamento da edificação por diversos pesquisadores na década de 90 (JACOVIDES et alli, 1996). O mecanismo pode reduzir o consumo energético requerido de uma edificação e é largamente usado para prover ar refrigerado a estufas (SANTAMOURIS et alli, 1995). Através dele, ocorre a transferência do calor de fontes naturais para a edificação durante o inverno e o oposto durante o verão. Elas também podem prover água quente, controle de umidade e controle da infiltração de ar (FISK; TURIEL, 1995).

Os tubos geralmente são de plástico, alumínio ou de concreto de diâmetro entre 10 e 20 cm. Eles são enterrados a profundidades entre 0,5 m e 2,0 m abaixo da edificação, em uma ou duas linhas horizontais, espaçadas em aproximadamente de 0,4 m. Estufas que contem tubos enterrados têm um consumo anual de energia reduzido em 30-60% em relação a estufas convencionais. A temperatura interna é de 3°C a 10°C maior que a temperatura externa (SANTAMOURIS et alli, 1996). Segundo Hollmuller et alli (2001) para que ocorra pré-aquecimento no inverno, é necessária a estação quente.

O estudo da bibliografia permite concluir que a eficiência do sistema dos tubos enterrados depende das características do tubo (material e diâmetro), da configuração do sistema (distância entre eixos, comprimento, inclinação, profundidade e velocidade de circulação do fluido) e das características do solo (difusividade térmica, umidade e tipo de cobertura). Santamouris et alli, (1996) coloca que seu correto dimensionamento exige o conhecimento aprofundado sobre o ciclo diário e anual de temperatura do ar e do solo. As fórmulas logarítmicas desenvolvidas pelos centros de pesquisa na Europa e na América do Norte permitem simular seu comportamento com um erro médio de 3,24% (TZAFERIS et alli, 1992).

O enfoque deste trabalho, porém, é um sistema alternativo ao uso de bombas de ar que procura tirar proveito de recursos naturais, tais como o vento e a diferença de temperatura, para a circulação de ar dentro do tubo, ou seja, sem componentes mecânicos. Segundo Lengen (2004), essa peculiaridade exige que o sistema desenvolva-se linearmente e que a edificação apresente uma abertura na parte

superior. Embora difundidos pela arquitetura sustentável, existem poucos estudos conclusivos sobre sua eficácia no condicionamento térmico da edificação e sobre os fatores determinantes para a circulação de ar no tubo. Os estudos mais próximos encontrados localizam-se em Costozza, Itália e em La Pampa, Argentina (LARSEN et alli., 2003).

2. OBJETIVO

Esse artigo busca avaliar o conforto térmico interno proporcionado a uma edificação que utiliza dutos enterrados para ventilação natural e determinar os fatores influentes na circulação de ar através dos dutos quando não há ação mecânica.

3. METODOLOGIA

3.1. Descrição do protótipo

Durante o ano de 2005 uma pequena escola de artesanato foi construída em Viamão, na grande Porto Alegre – Brasil, fruto de uma parceria entre uma instituição privada e da UFRGS. Este prédio, de pavimento único e área de 45,0m², apresenta uma sala de aula central, uma sala de administração a leste e sanitários a oeste. A escola – projetada por alunos do curso de Pós-Graduação em Engenharia como trabalho de conclusão de disciplina – tem a intenção de ser sítio para diversos estudos de técnicas de construção mais sustentáveis (figura 1 e 2).



Figura 1: Fotos da construção do protótipo

O protótipo foi construído junto ao talude natural do terreno, integrando-se a topografia local. Devido a disponibilidade na região, as paredes foram executadas com pedra grês de dimensões aproximadas de 40x25x15cm e rebocadas (com selante hídrico junto à massa) apenas nos locais suscetíveis a umidade do solo.

É importante salientar algumas diretrizes de projeto, propostas e executadas para otimizar o condicionamento térmico passivo. Entre elas, a orientação solar da edificação que apresenta seus compartimentos desenvolvendo-se ao longo do eixo leste-oeste e resultando na maior e principal fachada voltada para norte. Nessa, está localizada a maior área de janelas, permitindo uma maior captação de luz e radiação no período frio, ao mesmo tempo em que, o beiral da cobertura barra a incidência direta de radiação solar em toda a parede durante verão. As demais janelas estão voltadas para sul e permitem a ventilação cruzada caso necessário. Na administração e nos sanitários foi criada uma chaminé solar com formato inspirado nas paredes trombe para forçar a circulação de ar.

A cobertura é “verde” e sua estrutura foi executada em madeira. A camada de 20cm de terra, juntamente com o talude e as grossas paredes, oferecem a edificação uma grande inércia térmica, ideal para trabalhos onde se pretende avaliar a influencia de sistemas de condicionamento térmicos passivos de resposta lenta na variação de temperatura. Vale destacar que a madeira utilizada no protótipo é de eucalipto de reflorestamento sendo toda ela plantada, cortada, trabalhada e tratada dentro dos limites da propriedade e por mão-de-obra local.

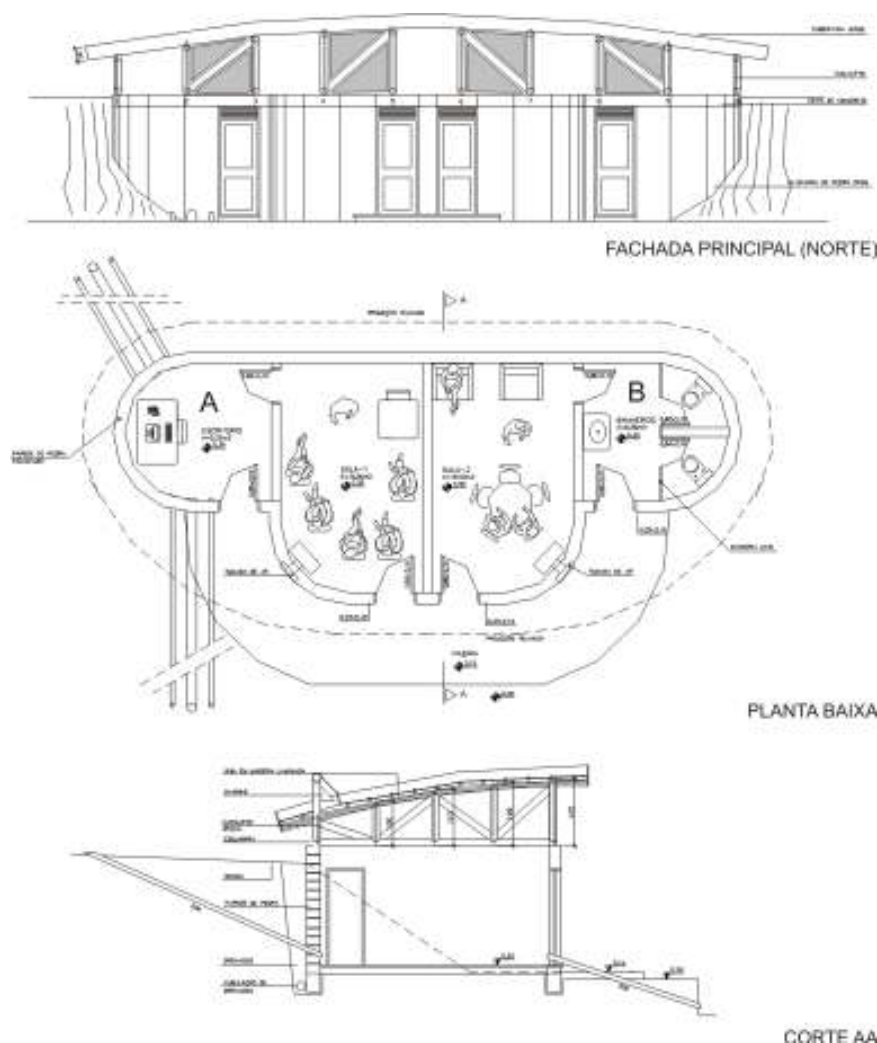


Figura 2: Projeto da edificação

Existem dois sistemas geotérmicos indiretos instalados na edificação. O primeiro, retira água de um poço artesiano próximo através de bombas hidráulicas e a conduz até o interior da sala de aula onde um trocador de calor atua para o condicionamento do ar. O segundo – foco deste trabalho – está instalado na administração (4,5m²). O conjunto de tubos enterrados procura ventilar o ambiente com o ar pré-refrigerado pela troca de calor do ar que circula pelo tubo do exterior para o interior com o solo.

Para o estudo utilizou-se tubos de dois diâmetros (100mm e 200mm) e, tirando proveito das características do sítio, duas inclinações (ascendente e descendente), o que resulta em quatro linhas de tubos. Uma terceira variável controlada é chaminé solar com possibilidade de estar aberta ou fechada. Os tubos de PVC utilizados são refugos da construção civil local, apresentam 18m de comprimento e profundidade variável (de zero a três metros em ambos sentidos). O ar externo que circula nos dutos entra na sala na base da parede sul para os tubos ascendentes e na base da parede norte para os tubos descendentes. Os tubos podem ser fechados com tampões para serem medidos independentemente e não apresentam qualquer sistema mecânico para a circulação do ar.

3.2. Material e Método

O protótipo foi monitorado durante o período de setembro de 2005 a março de 2006. Devido a grande variabilidade de sondas, três sistemas de registro de dados foram empregados. Os dados de radiação solar e as velocidades do ar externo (a 10m de altura do solo e na boca externa do tubo) foram coletados através de uma placa controladora CIO-DAS 802/16 e registrados com uma rotina desenvolvida com o software HPVEE 6.0.

As temperaturas do solo (às profundidades de 5, 50, 100, 200 e 300 centímetros), do ar no interior dos tubos (a 1m de cada extremidade) e na chaminé solar (base e topo à sombra), foram coletadas com termômetros NTC ligados a controladores TC-Clock900. Já a temperatura e umidade relativa do ar interna dos sanitários e externa, por termo-umidostatos ligados a controladores MT-530Ri. Ambos controladores armazenam os dados no software Sitrad 4.0. Este conjunto de sensores, controladores e software são desenvolvidos pela empresa Full Gauge Controls®.

O monitoramento da temperatura radiante, temperatura e umidade relativa do ar, bem como e a velocidade do ar dentro dos tubos no ambiente da administração foi executada usando o analisador de clima interno BABUC/A, desenvolvido pelo Laboratori di Strumentazione Industriale (LSI). O equipamento foi localizado no centro da sala, sobre um tripé, mantendo os sensores a aproximadamente 1,10m de altura e permitindo que o anemômetro de fio quente atingisse a boca dos tubos.

De acordo com o enfoque da análise, o tempo de coleta dos dados foi configurado de forma distinta. O estudo que segue corresponde a nove dias de medição, nos quais cada tubo foi monitorado independentemente (com os demais selados) e tem como enfoque determinar os fatores que influenciam no deslocamento do ar dentro do tubo. Os resultados de radiação solar e as velocidades do vento foram coletados a cada 10 segundos e suas médias registradas a cada 12 minutos juntamente com os valores no instante de temperatura do ar e umidade relativa do ar. Deve ser destacado que a edificação foi monitorada sem ocupação, as portas internas e externas foram mantidas fechadas e não havia aparelhos elétricos que caracterizem uma fonte de calor (exceto os próprios equipamentos de medição).

3.3. Tratamento dos Dados

Através do software Microsoft Excel® foram geradas planilhas de cálculo com a compilação dos dados externos e internos dos três sistemas de coleta. O desempenho termo-higrômetro da edificação foi avaliado dentro dos limites sugeridos para climas tropicais de países em desenvolvimento, sendo o limite inferior e superior de temperatura do ar interna de 18°C e 29°C e de umidade relativa interna entre 30% e 80%, de maneira similar a Morello (2005) baseado em Olgay (1998). O vento no interior dos tubos não deve passar a velocidade de 1,5m/s para não ser considerado incômodo deve gerar uma renovação do ar interno de 21m³/h/pessoa.

Foi estudada a influencia do vento externo e das diferenças de temperaturas. As variáveis independentes utilizadas foram: velocidade do ar externo a 10m de altura (V_a) e na Boca externa do tubo (V_b), velocidade do ar gerada pela diferença de temperatura do ar entre as extremidades dos tubos (D_{tt}), entre o ar próximo ao piso e próximo forro no ambiente (D_{ta}) e do ar na base e no topo da chaminé (D_{tc}). Cada uma das variáveis foi relacionada com a variável de resposta V_r (velocidade dentro do tubo) através gráficos de dispersão. Através da comparação dos resultados, se determinou as diretrizes influentes na ventilação no interior dos dutos.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. Parâmetros de conforto

O período monitorado foi caracterizado por alta radiação solar com alguma nebulosidade. O vento externo apresenta um comportamento cíclico regular ao longo do dia com predominância de calmaria durante a noite e rajadas durante o dia. Sua velocidade média foi de 0,8m/s com rajada máxima de 4,8m/s (gráfico 1).

No gráfico 2, vemos que a temperatura do ar externa foi elevada mantendo-se na maioria dos casos entre 18°C e 29,2°C, chegando a máxima de 39,7°C. As medições no interior do ambiente, porém, demonstram que sua temperatura do ar ficou na maioria dos casos dentro da faixa de conforto, entre

21,8°C e 25,7°C com limite superior de 30,0°C. Das 218 horas medidas, apenas 8 horas superaram o limite estipulado de 29°C (3,7% dos casos).

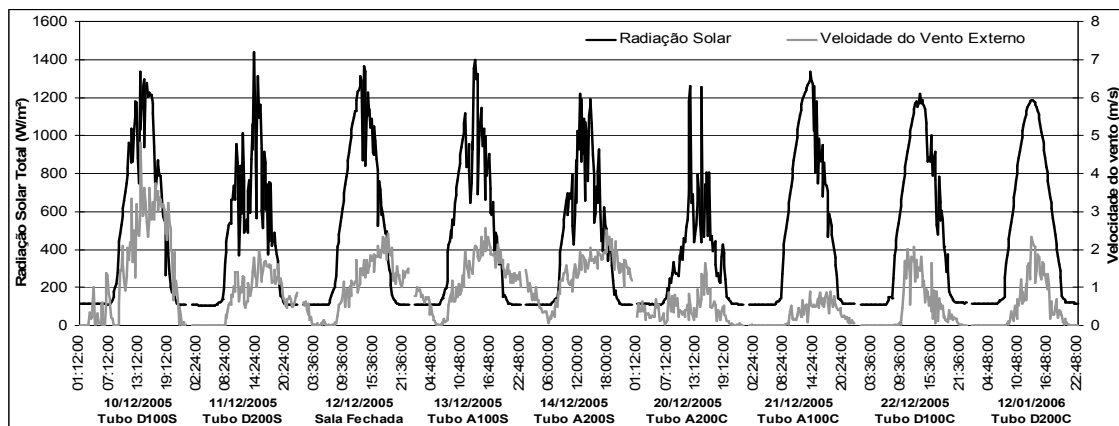


Gráfico 1: Condições externas de Radiação Solar e Velocidade do Vento

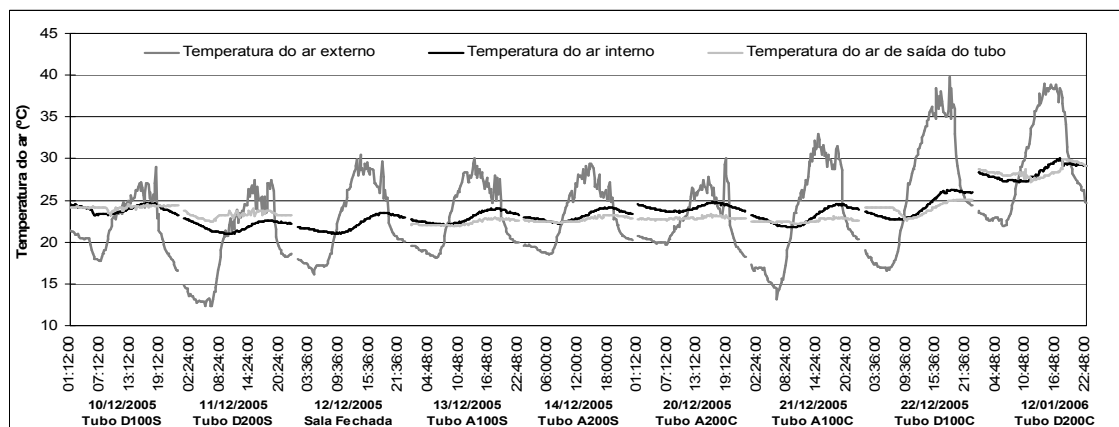


Gráfico 2: Condições externas e internas de Temperatura do ar

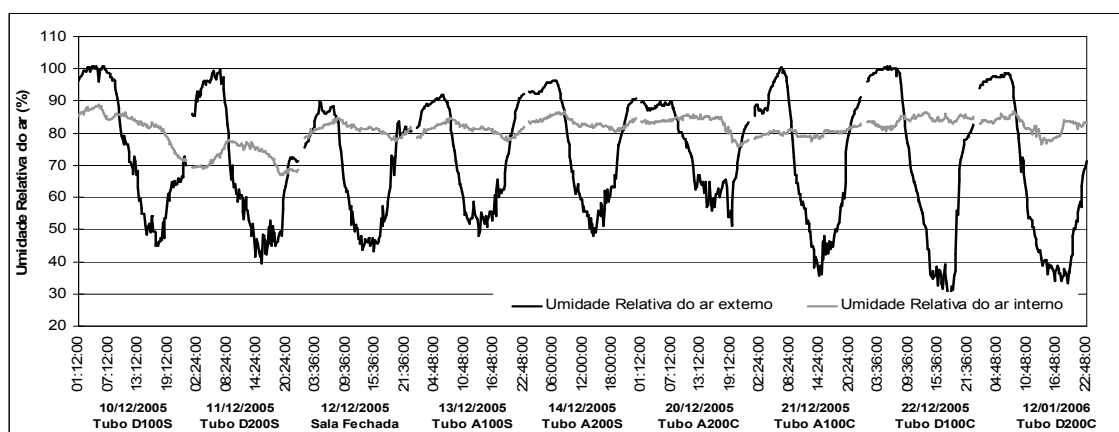


Gráfico 3: Condições externas e internas de Umidade Relativa do ar

A umidade relativa do ar externa oscilou bastante chegando a mais de 70% de variação durante um único dia (gráfico 3). A média foi de 71,4% e a maioria dos resultados encontra-se na faixa entre 51,7% e 91,1%. Embora tenha atingido por mais de uma vez 100% de umidade relativa do ar, não foi registrada precipitação em nenhum dos dias da medição sendo atribuída esta marca a formação de orvalho dentro do sensor. No interior do ambiente a umidade relativa foi constante (variando entre

76,9% e 85,2% na maioria dos casos), porém elevada, sua média de 81,1% manteve-se acima do limite de 80% estipulado. Esta elevada umidade foi constatada mesmo no dia de maior calor e pode ser atribuída ao contato contínuo das paredes da edificação com o solo, uma vez que ela se encontra “encostada” no talude. A umidade elevada aumenta consideravelmente a sensação térmica e, combinado a alta temperatura e carência de ventilação, é a principal causa de desconforto térmico.

Durante o período, os picos de temperatura do ar externo foram registrados às 14h e 48min, enquanto os internos apenas às 18h e 48min. Este retardo de 4h em média é útil para edificações que utilizam ventilação por dutos, pois no momento crítico de temperatura do ar interior, esta captando do exterior ar com temperaturas mais amenas com o início do entardecer. Para efeitos comparativos entre interior e exterior, porém, este retardo pode trazer má interpretação dos resultados de variação de temperatura, desta forma a tabela 1 foi elaborada buscando a variação de temperatura nos tubos nos momentos onde a temperatura interna é menor e maior que a externa respectivamente.

	ΔT do ar nas extremidades dos tubos interna e externa (°C)	
	$T_{int} < T_{ext}$	$T_{int} > T_{ext}$
Mínima	-3,0	-6,9
Média	3,8	-1,9
Máxima	11,8	2,2
Média das mínimas	0,4	-3,7
Média das máximas	7,1	-0,1

Tabela 1: Comparação da variação de temperatura

A análise da tabela permite concluir que os tubos atuam como amortecedores da temperatura interna. Nos momentos onde a temperatura da sala é menor que a externa, o ar é aquecido no interior dos dutos em média 3,8°C enquanto é resfriado em média 1,9°C na situação oposta. É possível concluir então, que de maneira geral, o solo refrigera o ar nos dutos durante o dia e o aquece durante a noite. O gráfico 2 mostra ainda que em média, a temperatura do ar na saída do tubo apresenta uma amplitude térmica menor que a da sala. Esse efeito pode ser explicado pelo fato do solo apresentar uma massa térmica muito maior a da edificação e demonstra que a troca de calor do ar com o solo é efetiva. Temperaturas médias menores podem ser obtidas através de tubos enterrados a maiores profundidades.

Como resultado, podemos concluir que os tubos ajudam o ambiente a manter sua temperatura estável e, no caso de Porto Alegre, onde o solo se mantém na faixa de 23°C, dentro da faixa de conforto. Como a umidade relativa dentro da sala permanece praticamente inalterada, enquanto a externa apresenta grandes oscilações, supõe-se que os tubos não contribuem negativamente na umidade do ar. A velocidade média do ar dentro dos tubos não variou com o diâmetro nem com o turno. Desta forma, podemos aplicar a média geral de 0,22m/s para cálculos da renovação de ar no ambiente. A área total dos seis tubos (quatro com diâmetro de 100mm e dois com 200mm) é de 0,094m² o que resulta em 74,64m³/h de ar, ou 5,53 renovações por hora, sendo esta mais que suficiente para a ventilação da sala que terá em média um único usuário.

4.2. Fatores influentes na velocidade do ar no interior do tubo

Através do estudo do gráfico 4 onde foram plotados os resultados das medições em dois tubos de diâmetros diferentes com mesma inclinação e posição da boca externa, permite concluir que a variável que melhor explica a circulação de ar dentro do tubo é a velocidade do vento externo, medido a 10m de altura. Esta conclusão se deve ao alto valor de R² encontrado na relação linear com a velocidade do ar dentro do tubo. Observamos também que a linha de tendência é similar, demonstrando que o diâmetro dos tubos influencia pouco.

O gráfico 5, que demonstra o resultado de medições dos mesmos tubos, porém em dias diferentes, observamos que esta relação direta é válida apenas para dias em que a velocidade média do vento externo é superior a 1,5m/s e não há ocorrência de calmaria. Constata-se também que mesmo para situações para vento externo com velocidades inferiores a 0,2m/s há circulação de ar no interior duto, demonstrando que outros fatores estão influenciando fenômeno.

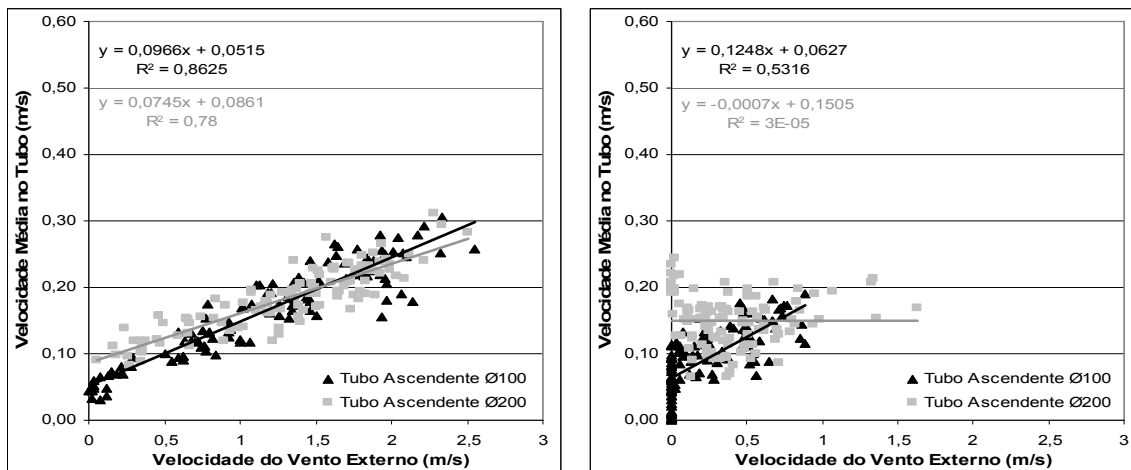


Gráfico 4 e 5: Gráfico de dispersão demonstrando a relação entre velocidade do ar externo e velocidade do ar dentro do tubo para o mesmo tubo e em dias diferentes.

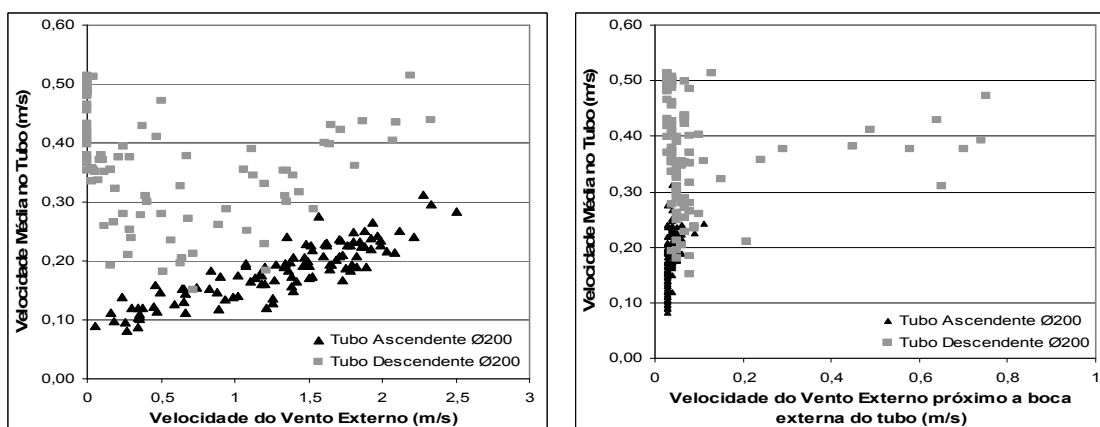


Gráfico 6 e 7: Gráfico de dispersão demonstrando a relação entre velocidade do ar externo e velocidade do ar dentro do tubo para dias diferentes.

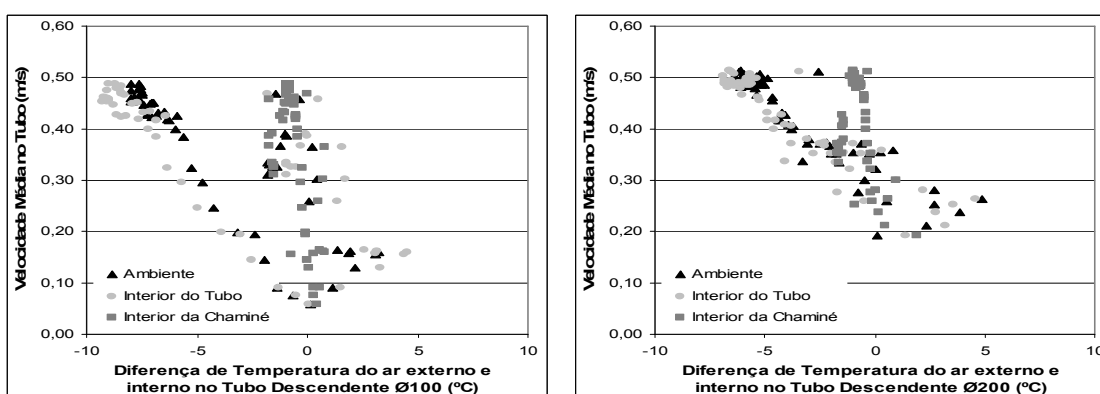


Gráfico 8 e 9: Gráfico de dispersão demonstrando a relação entre a diferença de temperatura e velocidade do ar dentro do tubo para dias diferentes e com vento externo em calmaria ($V_a < 0,5 \text{ m/s}$ e $V_b < 0,5 \text{ m/s}$).

A segunda variável estudada foi a velocidade do vento externo próximo a boca do tubo. O gráfico 6 mostra que embora com o mesmo diâmetro e distribuição da velocidade do vento externo similares, o tubo ascendente apresentou resultados de velocidade média no tubo maior e mais dispersas que o descendente. Cruzando os resultados com o gráfico 7, vemos que a boca do tubo ascendente está mais

exposta a incidência direta do vento externo, demonstrando que este atua significativamente na vazão dentro do duto.

A terceira variável estudada foram as diferenças de temperatura no interior do (a) duto, (b) ambiente e (c) chaminé. Nos gráficos 8 e 9 vemos que há a tendência de aumento da velocidade do ar dentro do tubo à medida que aumenta a diferença de temperatura, o que demonstra sua influência. A maior distribuição dos pontos para os valores negativos de diferença de temperatura se deve porque a maioria dos momentos de calmaria foi observada a noite, onde a temperatura interna é maior que a externa. Este fato explica também porque a diferença de temperatura na chaminé solar se demonstrou irrelevante.

5. CONCLUSÃO

Como observamos a edificação possui um bom condicionamento térmico interno, mesmo com altas temperaturas do ar externo e radiação solar, apenas em poucos momentos foram registrados valores de temperatura interna acima de 29°C. Podemos atribuir parte deste bom desempenho ao seu sistema de ventilação por tubos enterrados.

Assim como as edificações, o solo em pequenas profundidades, já apresenta uma variação térmica inferior a do ar ambiente. Essa diferença de amplitudes faz com que sua temperatura seja menor durante o dia e maior durante a noite. Sendo assim, o sistema de tubos atua como amortecedor da temperatura do ar que ventila o ambiente, pois ao passar pelos dutos ele troca calor com o solo e é pré-aquecido ou pré-refrigerado (dependendo o período do dia) antes de penetrar na edificação.

Essa pequena variação térmica do solo ao longo do dia, no caso de Porto Alegre, ocorre muito próxima a temperaturas de 23°C. Isso faz com que o ar que ingressa no ambiente esteja muito próximo a temperaturas da zona de conforto humana.

Embora a edificação apresente uma grande inércia térmica devido às características de suas paredes e cobertura, na configuração de tubos monitorada o ar que ingressar na edificação apresenta uma variação térmica inda menor que a do ambiente interno. Isso equivale a dizer que mesmo ventilando com ar externo, o sistema contribui para a redução da amplitude térmica dentro do ambiente.

Apresentar elevada inércia térmica em conjunto com o sistema de ventilação pelo subsolo mostrou-se uma característica vantajosa. A defasagem dos picos de temperatura interna resulta em uma captação do ar externo em momentos mais favoráveis, tornando esta a segunda justificativa para a melhora do condicionamento interno de temperatura.

O conjunto de seis tubos permite a renovação de ar do ambiente plenamente satisfatória para o que propõe o uso da sala. Essa ventilação ocorre a baixas velocidades de modo que não compromete sua utilização por qualquer tipo de atividade.

A variável predominante e de influência mais direta no deslocamento do ar no interior dos tubos é o vento externo. Sua atuação sobre a chaminé e sobre as frestas da edificação apresenta relação direta com a vazão, sendo mais significativa que aquela incidente na boca externa dos dutos. Embora possam ser observados apenas em momentos onde o efeito dinâmico é próximo a zero, o efeito de deslocamento de ar por diferenças de temperatura não pode ser desprezado, pois resultam em valores de vazão próximos aos alcançados pelo efeito do vento.

Como em geral o vento gera pressões negativas, supõe-se que a região de entrada do ar deva esteja protegida e a de saída (exaustor) o mais exposta possível. Deste modo se favorece o fluxo do ar passando pelos tubos antes do ingressar na edificação. Espera-se também que o uso de vegetação como bloqueador do vento na área externa geraria um micro clima mais estável e serviria também para melhorar o condicionamento do ar interno.

6. REFERÊNCIAS

COSTA, Ê. **Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural**. São Paulo: Edgard Blücher, 1982. 264p.

FIGUEIREDO, Danilo José. **Vikings: Mais que um povo, um ideal**, 200_. Disponível em: <www.klepsidra.ne>. Acesso em 7 jan. 2005.

FISK, W.; TURIEL, I. **Heat Exchangers: Performance, Energy Savings and Economics**, 1995.

HAZER, H. The use of Earth Covered Buildings. In.: **Proceedings of Conference on Alternatives in Energy Conservation: The use of Earth-Covered Buildings**. 1975, Texas. Anais... Texas: US GPO. p. 21-36, 1975.

HOLLMULLER, P.; LACHAL, B. Cooling and preheating with buried pipes system: monitoring, simulation and economic aspects. In: **Energy and Buildings**, n. 33, p. 509-518, 2001.

LENGEN, J. **Manual do Arquiteto Descalço**. Porto Alegre: Livraria do Arquiteto; Rio de Janeiro: TIBÁ, 2004, p. 228-242.

JACOVIDES, C.; MIHALAKAKOU, G.; SANTAMOURIS, M.; LEWIS, J. On the Ground Temperatures Profiles for Passive Cooling Application in Buildings. In.: **Solar Energy**, vol. 51, n. 3, p. 167-175, 1996.

LARSEN, S; FIPIPPÍN; C. LESINO; G. Earth-to-air Exchange through a Buried Pipe at a School in La Pampa, Argentina. In: **Proceeding of 20th Conference on Passive and Low Energy Architecture**. 2003, Santiago. Anais n.3, Santiago: PLEA. p. 893-898, 2003.

MIHALAKAKOU, G.; SANTAMOURIS, M.; ASIMAKOPOULOS, D. Modeling the Earth temperature using Multilayer Measurements. In.: **Energy and Buildings**, n. 9, p. 1-9, 1992.

MORELO, A. **Avaliação do Comportamento Térmico do Protótipo Habitacional Alvorada**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UFRGS. Brasil.

OLIVEIRA, Gilson. **Antigas camadas revelam uma cidade desconhecida**. 200_. Notícia do NetHistória. Disponível em: <www.nethistoria.com>. Acesso em 7 jan. 2005.

OLGAY, V. **Arquitetura y Clima**. Barcelona: GG, 1998.

PESCE, A. **Geotermia**. 2003. Disponível em: <<http://www.ciar-lda.com/geo/geotermia.html#topicos>>. Acesso em 7 nov. 2004.

SANTAMOURIS, M.; MIHALAKAKOUS, G.; BALARAS, C.; ARGIRIOU. Use of Buried Pipes for Energy Conservation in Cooling of Agricultural Greenhouses. In: **Solar Energy**, Vol. 55, n. 2, p. 111-124, 1995.

SANTAMOURIS, M.; MIHALAKAKOUS, G.; BALARAS, C.; LEWIS, J. Energy Conservation in Greenhouses with Buried Pipes. In: **Energy**, vol. 21, n. 5, p. 353-360, 1996.

TZAFERIS, A.; LIPARAKIS, D.; SANTAMOURIS, M.; ARGIRIOU, A. Analysis of the Accuracy and Sensitivity of Eight Models to Predict the Performance of earth-to-air heat Exchanger. In.: **Energy and Buildings**, vol. 18, p. 35-43, 1992.

WEIMER, G. **A Arquitetura**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 1992. 144p.