



XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ESTUDO DO DESEMPENHO DE SISTEMA DE RESFRIAMENTO COM TUBOS ENTERRADOS EM AMBIENTE NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2¹

FREITAS, Julye M. R. (1); TREICHEL, Suzana Z. (2); DALBEM, Renata (3); BELTRAME, Carolina (4); CUNHA, Eduardo G. (5)

(1) UFPEL, e-mail: juramalhof@hotmail.com; (2) UFPEL, e-mail: suzanatreichel@gmail.com; (3) UFPEL, e-mail: renata_dalbem@hotmail.com; (4) UFPEL, e-mail: carolinabeltrame.arquitetura@gmail.com; (5) UFPEL, e-mail: eduardogralacunha@yahoo.com.br

RESUMO

A ventilação natural é uma das estratégias bioclimáticas mais importantes no condicionamento natural. Uma das maneiras de utilizá-la é com o sistema de tubos enterrados, através dos quais circula o ar, funcionando para aquecimento e resfriamento dos ambientes. Para aquecimento o ar obtém ganho de calor através do solo, aquecendo o ambiente; para resfriamento o ar cede calor para o solo, resfriando o ambiente. O objetivo deste trabalho é determinar o quanto a utilização de tubos enterrados melhora o conforto térmico de um ambiente, na zona bioclimática 2, caracterizada por verões e invernos rigorosos, em relação ao mesmo ambiente apenas ventilado naturalmente pela ação do vento. O método consiste em simulações computacionais de uma zona térmica, com 24m². Foram simulados três casos distintos: a) sistema de tubos enterrados com uma renovação de ar por hora; b) sistema de tubos enterrados com cinco renovações de ar por hora e c) ventilação calculada (Airflownetwork). Os resultados mostraram que o caso b com cinco renovações por hora, foi a que obteve mais horas de conforto, 50,33%. Assim concluiu-se que a utilização dos tubos enterrados como estratégia de climatização natural aumenta as horas de conforto térmico do ambiente em relação ao uso apenas da ventilação natural.

Palavras-chave: Tubos enterrados; Simulação computacional; Conforto térmico; Eficiência energética.

ABSTRACT

The natural ventilation is one of the most important bioclimatic strategies. The buried pipes is a possible strategy to maximize the effects of the natural ventilation, working to heating and cooling. For heating the buried pipes gains heat from the soil, for cooling the internal air losses the heat to the soil. The aim of this paper is to present the performance of a thermal zone in bioclimatic zone 2 (characterized by harsh summer and winter), with buried tubes as strategy to maximize the thermal comfort. The performance of the zone will be compared to another thermal zone with natural ventilation, by the wind. The method consists in computational simulation of a thermal zone with 24 m² located in bioclimatic zone 2, with the software Energy Plus 8.3. It was modelled three different cases: a) system with buried tubes with one internal air renovation per hour; b) system with buried tubes with five internal air renovation

¹FREITAS, Julye M.; TREICHEL, Suzana Z.; DALBEM, Renata; BELTRAME, Carolina; CUNHA, Eduardo G. Estudo de desempenho de sistema de resfriamento com tubos enterrados em ambiente na Zona Bioclimática 2. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

per hour; c) calculated ventilation (airflownetwork). The results showed that the situation "B", with five renovations per hour, has more hours in thermal comfort, 50,33%. The utilization of buried tubes for this case showed itself as proper ventilation strategy

Keywords: Buried pipes; Computational simulation; Thermal comfort; Energy Efficiency.

1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia tem apresentado um crescimento desenfreado com o passar dos anos. Segundo o Balanço Energético Nacional de 2015 as edificações são as principais responsáveis pelo consumo energético no país, representando 48,5% do consumo total (BEN, 2015). Em busca de amenizar o impacto energético causado pelas edificações e a redução nos gastos com energia, estratégias passivas vem sendo pesquisadas para a construção de edificações e também para os sistemas utilizados nelas. Busca-se a utilização de sistemas alternativos, com baixo consumo de energia para operação, principalmente para condicionamento térmico, levando em consideração que geralmente esse tipo de equipamento é o principal responsável pelo consumo de energia.

De acordo com Lamberts *et al.* (2014), a ventilação natural, após o sombreamento, é a estratégia bioclimática mais importante a ser utilizada no Brasil, sendo exigida para maioria das capitais brasileiras como estratégia de conforto no verão e também ao longo do ano.

Frotae Schiffer (1999) dizem que ventilação é a renovação ou reposição de ar sujo (ou contaminado) por ar limpo, sendo assim pode-se afirmar que um sistema de recirculação de 100% do ar não pode ser considerado um sistema de ventilação.

A ventilação nos espaços arquitetônicos pode ser produzida por meios mecânicos (ventiladores, exaustores, etc.), e por meios naturais. Entende-se por natural, aquela que não exige aporte de energia artificial para obter a renovação de ar, usualmente esse tipo de ventilação se consegue deixando as janelas e portas de um ambiente abertas e é suficiente em um ambiente quando não existem outros focos de contaminação, exceto a gerada pelas pessoas. A ventilação natural pode ocorrer por diferenças de pressão (estática ou dinâmica) ou diferença de densidade do ar (PROCEL EDIFICA, 2011).

Costa (1982) explica que para ocorrer transmissão de calor entre duas regiões do espaço, basta existir diferença de temperatura entre elas. Este fenômeno pode ocorrer de três formas, denominadas condução, convecção e radiação. Sendo assim, o autor descreve como condução o processo em que a passagem de calor ocorre de uma zona para outra de um mesmo corpo, ou então de corpos diferentes, mas em contato íntimo. Já a convecção acontece quando a transferência de calor ocorre de uma zona para outra de um fluido, através da diferença de pressão ocasionada pela própria diferença de temperatura.

Musskopf (2006) relata em sua pesquisa que o efeito dinâmico gerado pelo vento é dominante perante a movimentação de ar gerada pela diferença de pressão e temperatura. Ele observou que quando havia um aumento na velocidade do vento externo à edificação em estudo, a velocidade do ar no interior dos tubos também crescia, independente dos demais fatores. Todavia, em situações de calmaria do ar, as diferenças de temperatura entre o ar interno e externo dos tubos e da edificação são mais influentes na circulação do ar, gerando uma vazão com valores de magnitude equivalente à do efeito dinâmico do vento (até 0,6m/s).

Existem vários métodos para ventilar um ambiente de maneira passiva. Neste trabalho é avaliado por meio de simulação computacional o nível de conforto térmico de um ambiente, onde são utilizados tubos enterrados como sistema de ventilação passiva. Esse sistema foi bastante pesquisado nos anos setenta e oitenta, porém não teve muita aceitação, devido as tecnologias que surgiram no período. No momento atual, com a preocupação em encontrar soluções passivas e alternativas mais sustentáveis ressurgiu o interesse na utilização do conceito tubo enterrado, por ser uma alternativa passiva de ventilação que proporciona a renovação do ar nos ambientes de interesse (França, 2011).

O sistema de tubos enterrados é composto por tubos subterrâneos, de metal ou de polímero, através dos quais circula o ar. Uma de suas extremidades fica acoplada ao equipamento de captação e a outra fica acoplada ao ambiente a ser climatizado. Durante o processo de arrefecimento, como o ar passa através do tubo, cede parte do seu calor para o solo e entra no ambiente mais frio. Da mesma forma, durante o período de aquecimento, o ar passa através do tubo e recebe uma parcela de calor do solo, entrando no ambiente mais quente. (*Input Output Reference, Energy Plus, 2015*).

Uma avaliação teórica e prática realizada por Darkwa, *et al.* (2011) no Laboratório de Pesquisa do Centro de Tecnologias Sustentáveis de Energia (CSET) da Universidade de Nottingham – Ningbo, China, afirma que o sistema de tubos enterrados possui grande potencial para a economia de energia em edificações. Os resultados da avaliação apontaram que o sistema contribuiu até 62% como estratégia de aquecimento, em períodos mais frios, e até 86% como estratégia de resfriamento, nos períodos mais quentes. Além disso, notou-se uma redução de 10% na umidade relativa do ar no período de aquecimento, enquanto que, no verão, o nível médio da umidade relativa aumentou 15%. Os autores ressaltam que estes resultados foram encontrados em um local que possui clima típico quente e úmido, sendo recomendável realizar investigações mais profundas quanto ao impacto que as condições do solo da área a ser estudada, como a umidade e temperatura, podem ter sobre a eficácia termo energética do sistema.

Em estudo realizado por Mota *et al.* (2015), que utilizou simulação computacional para calcular o desempenho de sistema de tubos enterrados de PVC em habitações de interesse social para as zonas bioclimáticas 1, 2 e 7, chegou-se a conclusão que a eficiência da utilização de tubos enterrados na zona bioclimática 7 é maior do que apenas a ventilação natural com

abertura das janelas, já na zona bioclimática 2 os tubos enterrados são mais eficientes somente no período de verão e na zona bioclimática 1 constatou-se que a ventilação natural pelas aberturas da casa seria mais eficiente do que o uso de tubos enterrados.

A simulação computacional é uma das mais poderosas ferramentas de análise na atualidade—pode simular, desde jogos, crescimento econômico e até problemas de engenharia (Hansen e Lamberts, 2011). Os autores afirmam também que analisar o comportamento do edifício antes da sua construção é mais econômico do que resolver problemas quando o edifício estiver pronto.

A possibilidade de ter um modelo com tubo enterrado simulado em um programa como o *EnergyPlus* é muito importante para definir se o sistema é ideal ou não para uma edificação específica, analisando a combinação entre fatores como a profundidade de instalação eo comprimento e raio dos tubos, por exemplo (LEE et al, 2008).

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é analisar, através de simulação computacional, o desempenho de um ambiente(zona térmica) localizada na zona bioclimática 2, representada pela cidade de Santa Maria, com a utilização do sistema de tubos enterrados com configurações diferentes e chegar ao resultado de horas de confortotérmico anual em que os ambientes teriam em cada configuração.

3 METODOLOGIA

A pesquisa possui uma ênfase quantitativa e utilizou a simulação computacional como principal estratégia. O método deste trabalho foi dividido em cinco etapas, descritas abaixo:

- 1- Realização de revisão de literatura acerca das características básicas e configurações de tubos enterrados (*Earth Tubes*) a serem utilizadas no software *EnergyPlus*, por meio do manual *Input Output Reference* do software *EnergyPlus*.
- 2- Modelagem da zona térmica a ser analisada, utilizando o software *SketchUp15*, juntamente com o *plugin Legacy Open Studio*.
- 3- Configurações de *Earth Tubes*(tubos enterrados)utilizando o *IDF Editor*.
- 4- Simulações dos três casos distintos a serem analisados: a) sistema de tubos enterrados com uma renovação de ar por hora; b) sistema de tubos enterrados com cinco renovações de ar por hora e c) ventilação calculada (*Airflownetwork*).
- 5- Análise e discussão dos resultados.

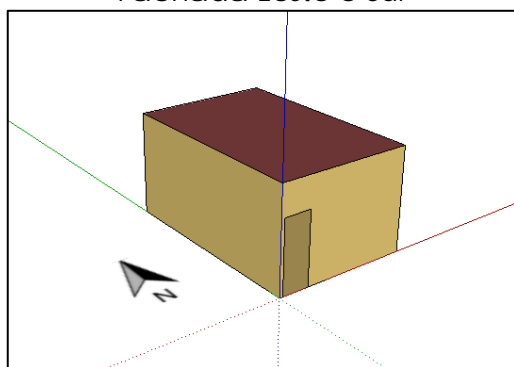
Para análise do conforto térmico do ambiente em cada caso, foi calculado o número de horas de conforto para o inverno, verão e para o ano todo, através da temperatura operativa para o nível de 80% de pessoas satisfeitas.

(ASHRAE Standard 55, 2010).

3.1 Descrição do Modelo

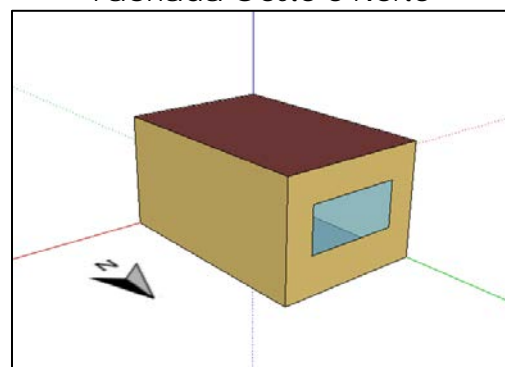
O estudo foi realizado utilizando o software *EnergyPlus*, versão 8.3. A modelagem da edificação foi feita na interface gráfica do *Sketchup 2015*, (Figuras 1 e 2), com o *plugin Legacy Open Studio 1.0.13*. Trata-se de uma zona térmica com dimensões de 4,00 x 6,00, possuindo uma janela voltada para fachada sul e porta de acesso voltada para a fachada norte.

Figura 1 – Vista frontal do modelo –
Fachada Leste e Sul



Fonte: Autores

Figura 2 – Vista posterior do modelo –
Fachada Oeste e Norte



Fonte: Autores

3.2 Configuração do Modelo

A equação básica utilizada pelo software *Energy Plus* para calcular a taxa de fluxo de ar de um tubo enterrado (*Earth Tube*) é:

$$\text{EarthTubeFlowRate} = E_{\text{design}} \cdot F_{\text{schedule}} [A + B (T_{\text{zone}} - T_{\text{odb}}) + C \text{Wind Speed} + D \text{Wind Speed}]^2 \quad (1)$$

Onde:

E_{design}: vazão de ar no tubo em m³/s.

F_{schedule}: agenda de tarefas que modifica a vazão no tubo.

A: Constante térmica do solo, adimensional.

B: diferença de temperatura entre as temperaturas de bulbo seco do ar interior e exterior, dado em [°C⁻¹]

(*T_{zone}* – *T_{odb}*): diferença de temperatura (°C) entre as temperaturas do ar de bulbo seco interior e exterior, abaixo do qual o *Earth Tube* não é utilizado.

C: velocidade do vento que está atuando fora do edifício. m/s

D: Coeficiente de fluxo vinculado ao quadrado da velocidade do vento, que é experimentada externamente ao edifício.

Wind Speed: velocidade do ar no tubo. m/s

As agendas (*schedules*) de ocupação foram definidas com base no RTQ-R-Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INMETRO, 2010), como descrito na Tabela 1.

Tabela 1 – Agenda de Ocupação

Horas	Dormitórios		Sala	
	Dia da Semana	Final de Semana	Dia da Semana	Final de Semana
1h - 7h	100%	100%	0%	0%
8h - 9h	0%	100%	0%	0%
10h	0%	50%	0%	0%
11h	0%	0%	0%	25%
12h	0%	0%	0%	75%
13h	0%	0%	0%	0%
14h	0%	0%	25%	75%
15h - 17h	0%	0%	25%	50%
18h	0%	0%	25%	25%
19h	0%	0%	100%	25%
20h	0%	0%	50%	50%
21h	50%	50%	50%	50%
22h-24h	100%	100%	0%	0%

Fonte: Autores

A transmitância térmica (U) dos sistemas construtivos foram calculados de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005), descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades Termofísicas dos Materiais

	Material	Espessura	Transmitância Térmica
Paredes Externas	Placade concreto	10 cm	4,40 W/m ² .K
Laje de Piso	Laje concreto + Revest. Cerâmico	12 cm + 1 cm	4,02 W/m ² .K
Cobertura	Laje concreto + Cam. de ar + Telha Fibrocimento	12 cm	2,07W/m ² .K

Fonte: Autores

Na janela foi utilizado vidro duplo com 3 mm de espessura. Sua dimensão é de 1,20 x 2,50m. A área envidraçada corresponde a 5% da área da envoltória. A porta de acesso é em madeira, com 5 cm de espessura e transmitância térmica de 2,58W/m².K.

Para calcular as temperaturas do solo, foi utilizado o pré-processador CalcSoilSurfTemp, vinculado ao EnergyPlus. Nele foram definidos o tipo de solo, e tipo de cobertura do solo, para obter os resultados necessários. O solo da região é considerado saturado e úmido, onde a temperatura média do solo calculada foi de 21,21°C e a amplitude ao longo do ano foi de 7,27°C.

3.2.1 Configuração dos tubos

Os tubos enterrados funcionam com ventiladores, onde sua diferença de pressão e eficiência devem ser informados. Tendo como diferença de pressão do ventilador 60 milímetros coluna d'água (m.m.c.a), ou seja 588 Pascals (Pa) e eficiência de 0,75. Os tubos estão enterrados a 4 metros de profundidade, possuem 15m de comprimento, 10cm de diâmetro, 0,3cm de espessura, com condutividade térmica de 0,2W/mK.

Foi definida uma temperatura mínima de resfriamento e uma temperatura máxima de aquecimento. Quando a temperatura interna está acima de 20°C os tubos são ativados, quando a temperatura alcança 30°C, os tubos são desligados. Foram testadas a temperatura de desligamento entre 26°C e 30°C. Observou-se que os melhores resultados em termos de conforto térmico ocorreram quando o *setpoint* de desligamento foi de 30°C.

Utilizando o arquivo climático da cidade de Santa Maria, foram simulados os 3 seguintes casos:

- a) ventilação 1 Ren/h e sistema de tubos enterrados;
- b) ventilação 5 Ren/h e sistema de tubos enterrados;
- c) ventilação natural calculada (*Airflownetwork*).

3.3 Análise do conforto térmico

Para a análise do conforto térmico dos casos simulados adotou-se a metodologia do conforto adaptativo da ASHARE Standard 55 de 2010. Onde foi utilizado um nível de aceitação de 80%. Para essa análise foram coletados da simulação, os dados de temperatura operativa do ambiente, que juntamente com as temperaturas médias mensais externas possibilitaram calcular, com o auxílio do *software Microsoft Excel®*, o nível de conforto térmico das três configurações analisadas.

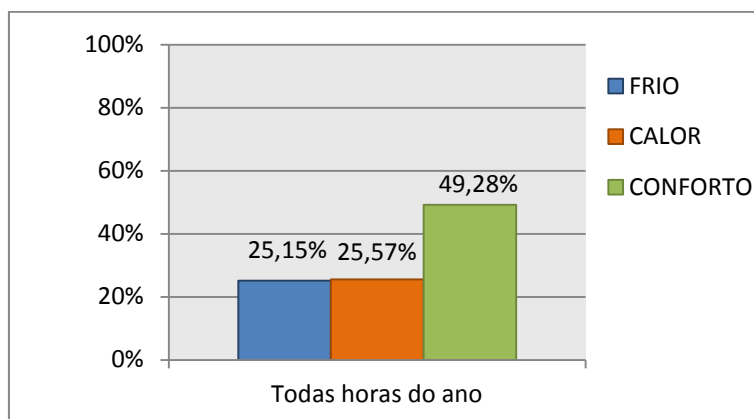
Com o objetivo de melhor verificar o comportamento da edificação, foram também realizadas análises separadas do nível de conforto térmico para o período de inverno, para o verão e para o ano inteiro. Para essa análise, primeiramente foi necessário caracterizar o período correspondente ao verão e ao inverno. Esses dados foram verificados no arquivo com extensão ".stat", o qual acompanha os arquivos climáticos, e apresenta dados estatísticos sobre o clima.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Através da simulação da situação 1, onde foram configurados os tubos enterrados com uma renovação de ar por hora, foram obtidos os resultados conforme a Figura 3. Nota-se que quase 50% de todas as horas do ano se classificam em conforto térmico. Já quanto à análise do desempenho dos tubos no inverno e no verão, observa-se que no verão são alcançadas mais

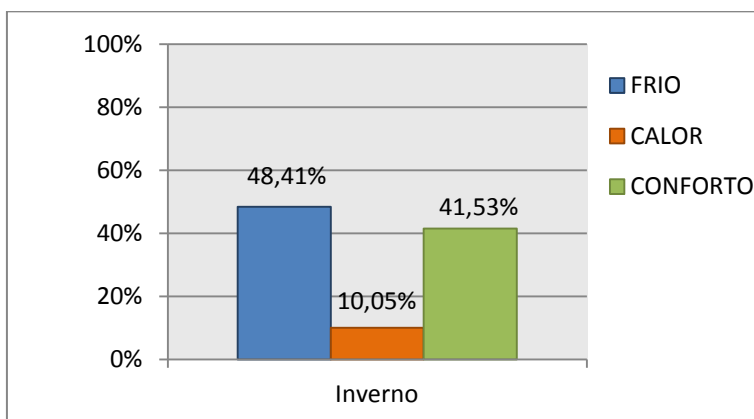
horas de conforto (50,37%), enquanto no inverno 49,28% das horas se classificaram em conforto térmico, como ilustramas figuras 4 e 5.

Figura 3 – Resultados da Situação 1



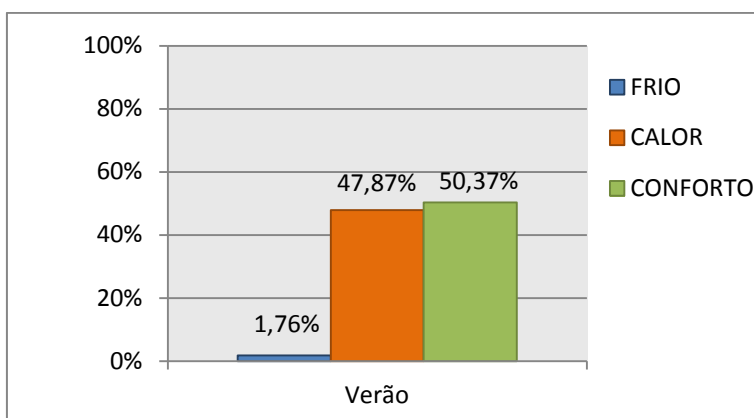
Fonte: Autores

Figura 4 – Resultados inverno Situação 1



Fonte: Autores

Figura 5 – Resultado verão situação 1

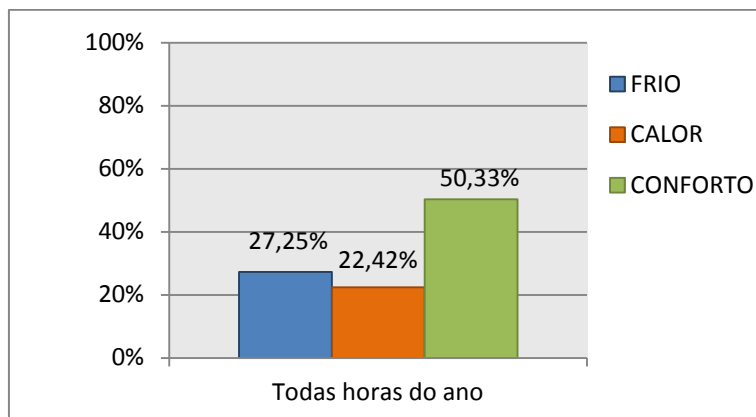


Fonte: Autores

Já com a simulação da situação 2, utilizando cinco renovações de ar por hora, nota-se uma pequena melhora em relação a situação 1. A quantidade de horas em conforto térmico foi para 50,33%, como pode ser observado na

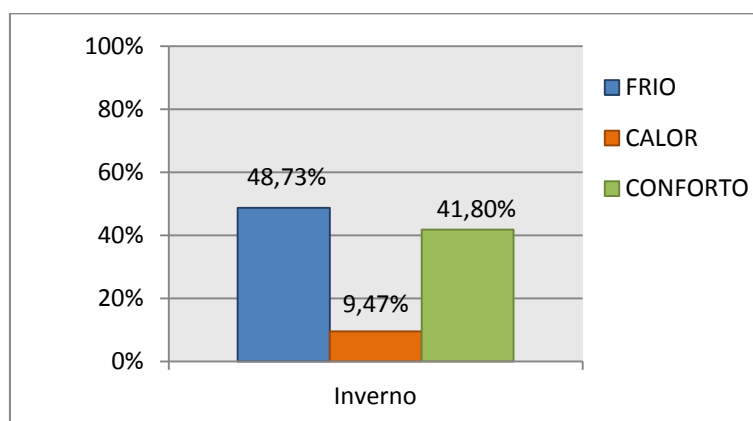
Figura 6. Essa melhora também é observada na análise de verão e inverno, porém continua com o mesmo comportamento, onde no verão apresenta mais horas de conforto em relação ao inverno (Figuras 7 e 8).

Figura 6 – Resultados da Situação 2



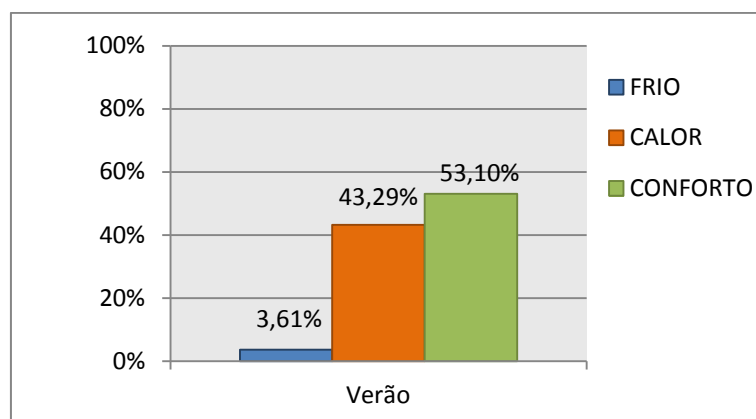
Fonte: Autores

Figura 7 – Resultados inverno situação 2



Fonte: Autores

Figura 8 – Resultados verão situação 2

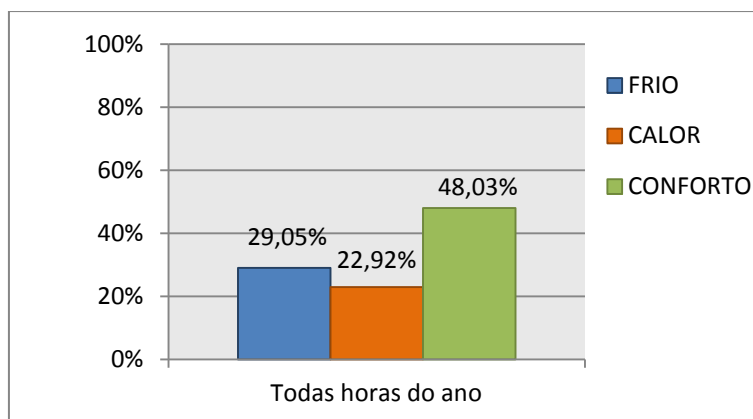


Fonte: Autores

A simulação da terceira situação, que foi configurada sem a presença de tubos enterrados e com ventilação natural calculada (*airflownetwork*), resultou em menos horas de conforto térmico do que os outros dois

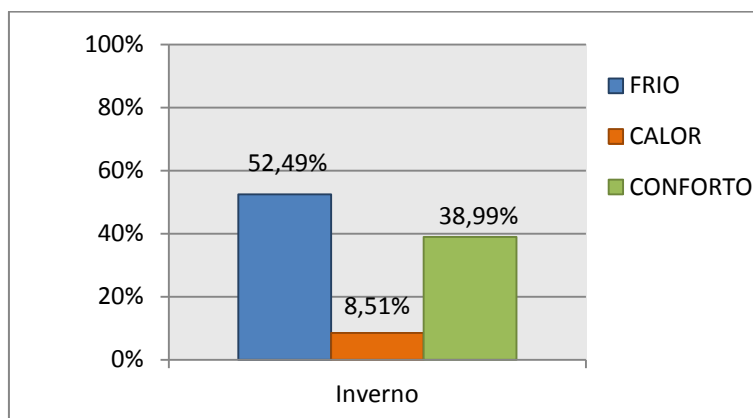
casos, tanto na análise anual, quanto nas análises de verão e inverno (Figuras 9, 10 e 11). Nesse sentido, observa-se que para esta edificação o uso dos tubos enterrados com 5 renovações por hora seria a melhor opção entre as analisadas quanto ao nível de conforto térmico da edificação.

Figura 9 – Resultados da Situação 3



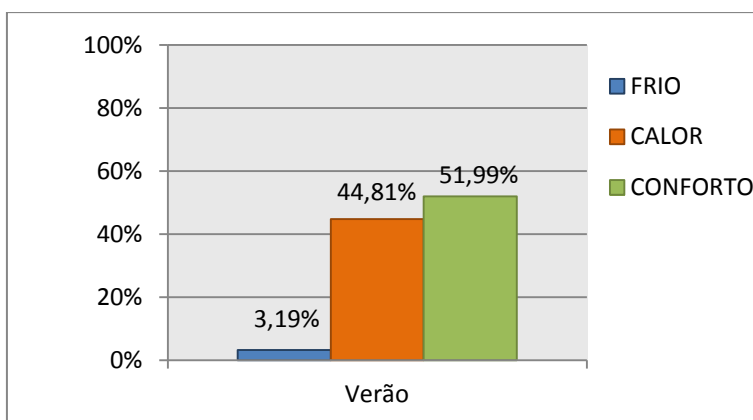
Fonte: Autores

Figura 10 – Resultados Inverno situação 3



Fonte: Autores

Figura 11 – Resultado verão situação 3



Fone: Autores

5 CONCLUSÕES

Embora o nível de conforto térmico tenha sido próximo dos 50%, os resultados obtidos mostram um melhor nível de conforto na edificação com a utilização do sistema de tubos enterrados nos dois primeiros casos. A ventilação calculada apresentou o menor índice de conforto no inverno, enquanto para o verão o menor índice foi encontrado para a situação com uma renovação de ar por hora. Podendo concluir que mesmo os tubos apresentando um bom desempenho para o ano inteiro, mostraram-se ligeiramente mais eficientes no inverno.

Esse sistema contribui para a economia de energia e também pode ser associado a outros sistemas de climatização, para a melhoria do desempenho térmico da edificação.

REFERÊNCIAS

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERING. Standard 55: **Thermal environmental conditions for human occupancy**. ASHRAE: Atlanta, 2004.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220: Desempenho Térmico para Edificações de Interesse Social, Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações**, Rio de Janeiro, ABNT, 2005.

EPE Empresa de Pesquisa Energética BEN 2015– **Balanco Energético Nacional 2015**. Disponível em <www.ben.epe.gov.br> . Acessado em junho de 2016.

COSTA, Ennio Cruz. **Arquitetura Ecológica**: condicionamento térmico natural. São Paulo: Edgard Blücher, 1982.

DARKWA, J. G.; KOKOGIANNAKIS, C.L.; MAGADZIRE, K. Yuan. **Theoretical and practical evaluation of an earth-tube (E-tube) ventilation system**. *Energy and Buildings*, 2011.

ENERGYPLUS. **EnergyPlus Input and Output Reference, EnergyPlus Version 8.3.**, The Board of Trustees of the University of Illinois and the Regent of the University of California through the Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA, 2015.

FRANÇA, Sergio Roberto. **Simulação visando a ventilação de residências através de tubos enterrados**. Monografia. Departamento de Engenharia Mecânica da UFRGS. Porto Alegre. Brasil, 2011.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

HENSEN, Jan L. M., LAMBERTS, Roberto. **Building Performance Simulation for Design and Operation**. Abingdon: Spon Press, 2011.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial.

Portaria n. 449/2010: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais - RTQ-R. INMETRO, 2010.

LAMBERTS, Roberto.; DUTRA, Luciano.; PEREIRA, Fernando. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Ed. Eletrobras/Procel, 2014.

LEE, Kwang Ho; STRAND, Richard K. ***The cooling and heating potential of an earth tube system in buildings***. *Energy and Buildings*, 2008.

MOTA, R.; BAPTISTA, G.; WINKEL, L.; CUNHA, E.; **Avaliação do nível de conforto térmico de HIS com tubos enterrados para as zonas bioclimáticas 1, 2 e 7**. In XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais**, 2015.

MUSSKOPF, Diego Boschetti. **Estudos exploratórios sobre ventilação natural por tubos enterrados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2006.

PROCEL EDIFICA, **Ventilação natural em edificações**. Rio de Janeiro, 2010.