

INFLUÊNCIA DO USUÁRIO NO CONFORTO TÉRMICO DE UM EDIFÍCIO DEVIDO À OPERAÇÃO DE JANELAS

Renata Dalbem

Arquiteta e urbanista, mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas.

E-mail: <renata_dalbem@hotmail.com>.

Carolina Mesquita Duarte

Acadêmica em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas.

E-mail: <carolinademesquitaduarte@hotmail.com>.

Nirce Saffer Medvedovski

Profa. Dra. Arquiteta e Urbanista, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas.

E-mail: <nirce.sul@gmail.com>.

Eduardo Grala da Cunha

Prof. Dr. Arquiteto e Urbanista, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas

E-mail: <eduardogralacunha@yahoo.com.br>.

RESUMO

A ventilação natural é uma das estratégias mais eficientes para remover a carga térmica acumulada no interior dos ambientes e também é importante para a renovação do ar interior. O objetivo principal do artigo é analisar o comportamento do usuário em relação a operação de janelas em dois apartamentos residenciais localizados na cidade de Pelotas-RS. Também tem como objetivo analisar a influência da abertura de janelas no desempenho termoenergético dos apartamentos e comparar o uso real às configurações preconizadas no RTQ-R, realizada através de simulação computacional com o *software Energy Plus*. Com a análise observou-se que durante o período de inverno não é frequente a abertura de janelas pelos usuários e, quando ocorre, não interfere significativamente na temperatura interior. Devido à edificação ser pouco estanque e com alta transmitância térmica os ambientes permanecem com temperaturas baixas. Comparando os as temperaturas do edifício real com o modelo do *Energy Plus*, observa-se que o edifício real apresenta temperaturas inferiores de, em média, 0,7°C.

Palavras-chave: Conforto térmico. Eficiência energética. RTQ-R. Ventilação natural.

1 INTRODUÇÃO

A ventilação natural é uma estratégia eficiente e necessária para manter a qualidade do ar, além de auxiliar na sensação de conforto do usuário na

edificação, pois é responsável pela renovação do ar nos ambientes, e pelo resfriamento das edificações e dos usuários. Segundo Mascaró (1985, p. 68), é indicada a ventilação natural permanente, para os climas quentes e úmidos, assim como nos frios com umidade relativa do ar constante e alta.

De acordo com Lamberts (2014), a ventilação natural é uma das estratégias bioclimáticas mais importantes para o Brasil. A grande maioria das capitais brasileiras exige a ventilação natural como principal estratégia no verão e mesmo ao longo do ano todo. Em algumas cidades é desejado o uso de ventilação natural em mais de 50% das horas do ano. Essa estratégia é eficaz entre temperaturas de 20°C a 32°C com umidade relativa entre 15 e 75%. Acima destas temperaturas ganhos térmicos por convecção funcionariam mais como aquecimento do ambiente que como resfriamento.

Os critérios para a utilização da ventilação natural variam com o tipo de ambiente e com as condições climáticas da região, a necessidade deste tipo de ventilação é possível ser verificada através da carta bioclimática de Givoni (1992), que indica as estratégias utilizadas e o percentual anual adequado para determinada região, de acordo com a umidade relativa do ar e das temperaturas de bulbo seco.

Uma variável que deve ser considerada é a área útil de ventilação, a qual é diferente para cada tipo de abertura. Também é importante a orientação e implantação correta da edificação, visando explorar o vento predominante no verão e evita-lo no inverno. Elementos como vegetação e superfícies edificadas influenciam no ângulo de incidência e na intensidade com o qual o vento atinge a edificação (LAMBERTS et al, 2014).

Verdelho (2008), realizou uma avaliação do potencial de arrefecimento de edifícios através da ventilação natural, através de um estudo paramétrico para vários cenários arquitetônicos e climáticos de Portugal. Assim foram elaboradas recomendações de projeto a serem seguidas no processo de concepção do edifício, referentes à implantação, distribuição dos espaços, posicionamento e dimensionamento das aberturas e características da envolvente, a fim de potencializar o desempenho do sistema de ventilação natural.

Batista e Lamberts (2009) avaliaram o impacto de diferentes condições de ventilação no desempenho térmico de uma residência experimental em Florianópolis. Os autores concluíram que a quantidade de horas em que as estratégias de ventilação são empregadas altera o desempenho térmico dos ambientes.

A passagem do ar que se dá através do edifício pela ventilação natural pode se dar de duas maneiras distintas, ventilação higiênica que é mais frequente nos meses frios, utilizando o mínimo necessário para renovações, e ventilação de

conforto, para os meses quentes. Segundo Frota e Schilffer (1995, p.124), os efeitos dessa ventilação natural podem ocorrer de duas formas, pela ação dos ventos ou pelo efeito chaminé, causadas respectivamente pela diferença de pressão entre o interior e o exterior, e pela diferença de temperatura entre o ar externo e o ar do interior do edifício.

Segundo Lamberts et al (2014), uma das estratégias mais eficazes é a ventilação cruzada, por meio de duas janelas em paredes diferentes, provocando uma melhor distribuição do ar no ambiente. Outras estratégias para ventilação natural são o uso de captadores de vento, peitoris ventilados, mansardas, lanternins e torres de vento.

A temperatura do ar, a radiação solar, o movimento do ar e a umidade, são os principais elementos que afetam o conforto do indivíduo no interior da edificação, mas esses fatores podem ser equilibrados através da utilização adequada da ventilação natural. E quando se trata deste aspecto o usuário tem grande influência na sua aplicação, pois é o único responsável pela rotina de uso, como por exemplo, a operação das janelas, em relação a abertura e fechamento das mesmas.

O RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INMETRO, 2012) prevê alguns parâmetros simplificados em relação aos padrões de uso e ocupação, mas na prática essas variáveis, se dão de forma irregular e espontânea, e influenciam diretamente no conforto térmico do edifício. Através da Avaliação Pós-Ocupação (APO), é possível avaliar essa influência, visando aspectos de uso, operação e manutenção. Com isso, a intenção é promover a melhoria na qualidade de vida e produzir informações sobre o usuário e o ambiente, tendo como foco principal o usuário (ORNSTEIN; ROMERO 1992).

2 OBJETIVO

Utilizando como objeto de estudo dois apartamentos residenciais localizados na cidade de Pelotas-RS, o trabalho tem como objetivos: a) analisar o comportamento do usuário, em relação à abertura e fechamento de janelas para ventilação natural, b) analisar a influência da operação de janelas no conforto térmico dos ambientes e c) comparar o uso real às configurações preconizadas no RTQ-R. Assim, o estudo busca contribuir com recomendações que possibilitem a melhoria do conforto térmico nas edificações.

3 MÉTODO

O estudo foi realizado em 7 etapas, durante o período de uma semana de inverno, de 15/06/16 à 22/07/16:

1. levantamento físico dos apartamentos, dimensões e materiais de construção, que foram disponibilizados pelo condomínio. Esses dados foram utilizados para a modelagem e configuração no software *EnergyPlus*;
2. identificação do comportamento do usuário em relação aos horários de abertura e fechamento das janelas para ventilação natural, através de observações e anotações dos usuários;
3. medições das temperaturas externas e internas dos ambientes de análise, através da instalação de sensores, de acordo com a ISO 7726:2001- *Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities*;
4. simulação computacional com o software *EnergyPlus*, versão 8.3, utilizando as configurações preconizadas no RTQ-R (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais);
5. escolha de uma semana do arquivo climático com características próximas às medidas no local, através da análise dos dados de amplitude térmica e temperatura média semanal, utilizada para a análise dos resultados da simulação
6. análise dos resultados de temperaturas, graus-hora de aquecimento e resfriamento e conforto térmico, de acordo com o modelo adaptativo da ASHRAE *Standard 55* (2007);
7. comparação dos resultados obtidos através das medições no local com os resultados das simulações dinâmicas.

3.1 LEVANTAMENTO FÍSICO DO EDIFÍCIO

Pelotas atualmente possui 51 conjuntos habitacionais concluídos, totalizando 9.251 unidades habitacionais (NAURB, 2014). Para o estudo foram utilizados dois apartamentos do “Conjunto Residencial Aldeia”, localizado na cidade de Pelotas-RS. O conjunto foi promovido pela Cooperativa Habitacional Princesa do Sul, COOHAPRIN em 1975. Possui 144 apartamentos divididos em 12 blocos de 4 pavimentos (CCRA,2015).

Os apartamentos possuem 60,38m² cada e pé-direito de 2,50m, com três dormitórios, sala de estar, cozinha, circulação, banheiro e área de serviço, distribuídos conforme a Figura 1.

Figura 1 – Planta baixa – apartamento tipo



Os apartamentos estão localizados no meio de um bloco de apartamentos, com aberturas apenas para as orientações leste e oeste.

A Tabela 1 apresenta a transmitância térmica (U) dos elementos construtivos do edifício, calculadas de acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

As paredes externas possuem 23cm, são compostas tijolo maciço com dimensões de 9 x 19 x 5,3cm, assentados na maior dimensão (19cm), com reboco de 2 cm nas duas faces. As paredes internas são compostas por blocos cerâmicos de seis furos com dimensões de 9x19x24cm, assentados na menor dimensão (9cm), com reboco de 2,5 cm em cada face.

O piso é composto por laje de concreto maciça de 10 cm, argamassa de assentamento de 2 cm revestimento cerâmico em todos os ambientes.

As paredes externas são pintadas na cor creme, com alguns detalhes pintados de verde claro, foi considerada então absorvância de $\alpha=0,3$.

As esquadrias dos dormitórios e sala (ambientes de estudo) possuem dimensões de 1,80m x 1,20m, são de madeira, pintadas de branco, com vidro simples 3 mm e persianas. A cozinha e área de serviço possuem esquadrias de alumínio, sem pintura, com vidro simples canelado. Para o estudo foram analisados apenas os dormitórios 1 e 2 e a sala de estar.

Tabela 1 – Transmitância térmica dos elementos construtivos

Elemento	Espessura total (m)	U (W/(m ² k))
Paredes Externas 23 cm	0,23	2,36
Paredes Internas 14cm	0,14	2,52
Piso 15 cm	0,15	4,43

U= Transmitância térmica (W/(m²k))

3.2 COMPORTAMENTO DO USUÁRIO

Esta etapa possui o objetivo de identificar de que maneira os usuários manipulam as esquadrias no ambiente residencial. Através de anotações dos moradores foram identificados o horário de abertura e fechamento das janelas e persianas, percentual de abertura, e os períodos onde foram utilizados sistemas de climatização para aquecimento dos ambientes.

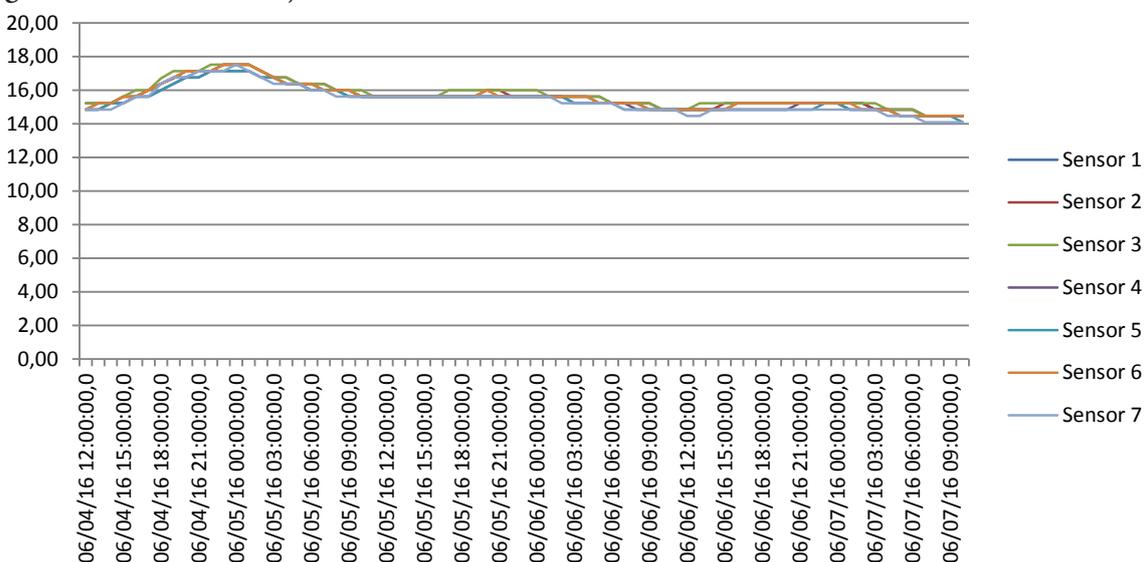
3.3 MEDIÇÕES DE TEMPERATURA NO LOCAL

Para certificar-se que os equipamentos estão em adequadas condições para uso, faz-se necessária a aferição prévia dos sensores. Para este procedimento, foram configurados 8 sensores para iniciar a coleta de dados no dia 04/06/16 às

12:00h. Os sensores foram mantidos dentro de duas caixas térmicas de isopor durante 72 horas, conforme a Figura 2.

Figura 2 – Sensores condicionados para aferição


Após o tempo determinado, são avaliados os dados da aferição (Figura 3). Nas especificações dos sensores são indicadas acuracidade para os valores de temperatura de $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$.

Figura 3 – Dados da aferição


A partir da análise de dados, observou-se, em média, para os valores de temperatura a acuracidade de $0,34^{\circ}\text{C}$.

Um dos sensores teve que ser descartado devido à falta de bateria, pois não terminou o procedimento.

Após a aferição, foi realizada a configuração dos sensores utilizando o *software* BoxCar, para

coletar os dados de temperatura de hora em hora, durante o período entre 14 de junho à 0h00min e 20 de junho até à 0h00min.

Foram instalados os 7 sensores, seis nos ambientes internos e um no exterior da edificação. Os sensores foram instalados nos dois apartamentos, em dois dormitórios e sala de estar. O posicionamento dos sensores nos ambientes foi realizado,

conforme recomendado na ISO 7726:2001- *Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities*, à uma altura de 1,7m do piso, próximo às paredes internas e de forma a evitar a exposição direta ao sol das áreas envidraçadas.

3.4 SEMANA DE REFERÊNCIA

Esta etapa teve como objetivo eleger uma semana do arquivo climático com as temperaturas

próximas às obtidas no local, para a análise dos resultados da simulação. Para isso, foram verificadas a amplitude térmica e temperatura média de cada semana do arquivo climático e comparadas aos dados reais.

Dessa forma, como mostra a Tabela 2, a semana escolhida foi a semana do dia 20/06 à 26/06, onde a amplitude térmica média da semana teve diferença de -1,05 °C em relação a real e a temperatura média semanal teve diferença de -0,35 °C.

Tabela 2 – Amplitude térmica e temperatura média diária – semana real x semana arquivo climático

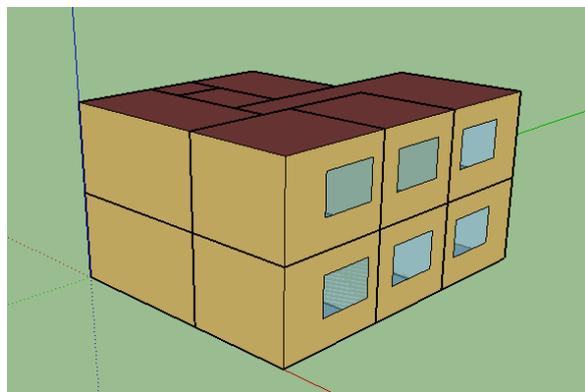
Semana real			Semana arquivo climático		
Dia	Amplitude térmica	Temperatura média	Dia	Amplitude térmica	Temperatura média
14/jun	5,79	12,87542	20/jun	5,17	13,28
15/jun	7,7	13,88	21/jun	3,8	11,74
16/jun	3,1	12,31917	22/jun	7,09	10,57
17/jun	5,8	11,585	23/jun	4,22	10,36
18/jun	10,07	12,18792	24/jun	6,78	12,64
19/jun	9,67	12,36	25/jun	11,14	12,23
20/jun	6,99	11,18917	26/jun	3,53	13,18
Média	7,02	12,34	Média	5,96	11,99

3.5 SIMULAÇÃO DE ACORDO COM O RTQ-R

Para a análise da eficiência da envoltória da edificação, pelo método de simulação do RTQ-R (INMETRO, 2012), foi utilizado o *software Energy Plus*, versão 8.3.0. A modelagem da edificação foi feita na interface gráfica do *Sketchup 2015* (Fi-

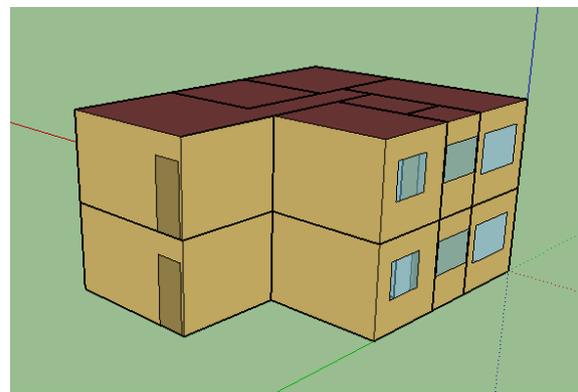
gura 4 e 5), utilizando o *plugin Legacy Open Studio 1.0.13*. O arquivo climático utilizado para a simulação foi o de Camaquã, Zona Bioclimática 2, que possui características climáticas semelhantes às de Pelotas. O período de simulação compreende às 8.760 horas do ano.

Figura 4 – Modelo SketchUp – Fachadas sul e leste



Para configuração das simulações, foram utilizados os valores para ocupação, iluminação e uso de equipamentos padrões apresentados no RTQ-R. A ocupação é de duas pessoas por dor-

Figura 5 – Modelo SketchUp – Fachadas norte e oeste



mitório e na sala a soma de todos os usuários (6 pessoas). As rotinas de ocupação foram configuradas separadamente para os dias de semana e para os finais de semana, conforme as Figuras 6

e 7. Foi considerada uma taxa de metabolismo 81 W/pessoa nos dormitórios e de 108 W/pessoa na sala/cozinha.

Figura 6 – Padrão de ocupação para dias de semana - porcentagem por horas (INMETRO, 2012)

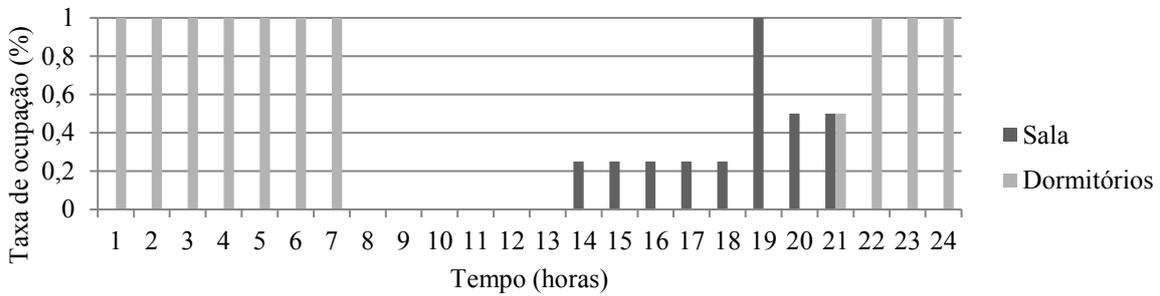
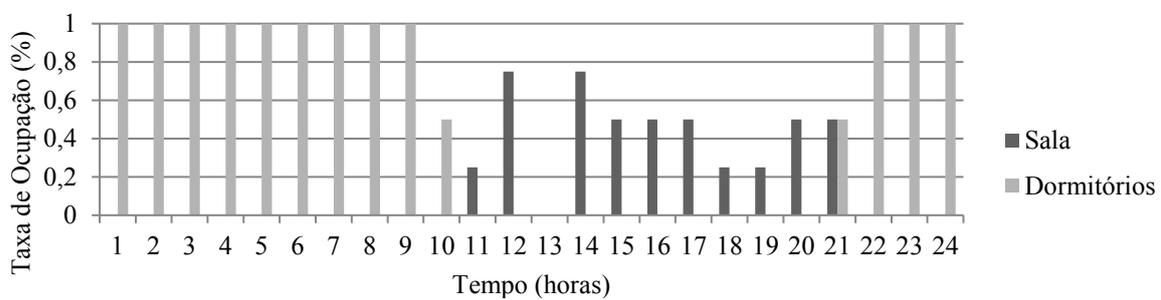


Figura 7 – Padrão de ocupação para finais de semana (INMETRO, 2012)



As agendas de iluminação foram configuradas separadamente, para os dias de semana e para os finais de semana, conforme as Figuras 8 e 9, com uma densidade de potência instalada de 6 W/m² nas salas e de 5 W/m² nos dormitórios.

Figura 8 – Padrão de iluminação para dias de semana (INMETRO, 2012)

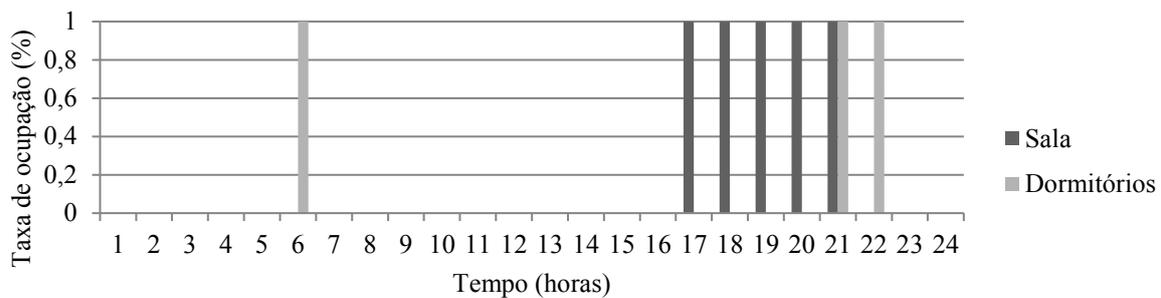
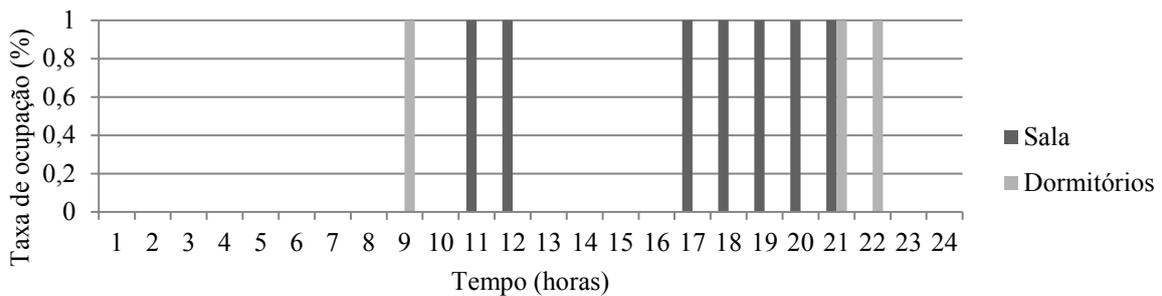


Figura 9 – Padrão de iluminação para finais de semana (INMETRO, 2012)



A densidade de carga interna com equipamentos recomendada é de 1,5 W/m² para a sala, consideradas no período de 24 horas, durante todo o período da simulação.

As paredes em contato com os apartamentos vizinhos, orientações norte e sul e a cobertura do apartamento 2, foram configuradas como superfícies adiabáticas, sem troca de calor.

Devido o apartamento 1 estar no pavimento térreo, foi necessário o cálculo da temperatura média do solo, utilizando o programa *Slab* vinculado ao *Energy Plus*, com base nos valores médios das temperaturas internas e externas da edificação.

Foi configurada a infiltração de ar durante todo o período anual, de acordo com o guia CI-BSE (2004) o valor adotado para a infiltração foi de 1,40 ren/h (renovações por hora). Esse valor é recomendado para apartamentos de 1 a 5 pavimentos, pouco estanques.

A ventilação natural foi configurada no campo *AirFlowNetwork* do *EnergyPlus*, que permite calcular as mudanças de temperatura e umidade, vazões e renovações do ar.

Tabela 3 – Casos analisados

Casos	Descrição	Obtenção dos resultados
Caso 1	Edifício real	Medições
Caso 2	Edifício simulado com as configurações do RTQ-R	Simulação

3.4.2 GRAUS-HORA DE AQUECIMENTO

Os graus-hora de são calculados com uma temperatura base de 20°C para aquecimento. Através da Equação 1 calcula-se o indicador de graus hora de aquecimento para a temperatura operativa horária, para cada ambiente de permanência prolongada. Como o estudo é realizado para uma semana fria, não são calculados os graus-hora de resfriamento.

$$GH_R = \sum (20^\circ - T_o) \quad (1)$$

Onde:

GH_R = indicador de graus-hora para resfriamento;

T_o = Temperatura operativa horária (°C).

3.4.3 CONFORTO TÉRMICO

A análise de conforto térmico do modelo naturalmente ventilado é realizada pelo Modelo adaptativo da ASHRAE Standard 55. Esse modelo relaciona as temperaturas internas e externas do ambiente. Através da temperatura externa o mo-

delo determina a temperatura operativa de conforto através da Equação 2.

Foram configuradas para todas as janelas a abertura de 50%, que corresponde a uma janela de correr.

3.6 MÉTODOS DE ANÁLISE DE RESULTADOS

3.4.1 ANÁLISE DAS TEMPERATURAS INTERNAS

Esta análise tem como objetivo verificar a influência da abertura de janelas na variação das temperaturas internas dos ambientes. Os resultados são analisados para o período de uma semana, utilizando as temperaturas operativas internas, obtidas nos 2 casos, apresentados na Tabela 3.

delo determina a temperatura operativa de conforto através da Equação 2.

$$T_{oc} = 18,9 + 0,255 T_{ext} \quad (2)$$

Onde:

T_{oc} = Temperatura operativa de conforto;

T_{ext} = Temperatura média mensal externa.

Uma oscilação da temperatura operativa interna em relação à temperatura operativa de conforto entre +2,5 °C e -2,2°C estabelece uma aceitabilidade de 90%, e entre +3,5°C e -3,2°C uma aceitabilidade de 80%. (ASHRAE 55, 2004)

4 RESULTADOS

4.1 COMPORTAMENTO DO USUÁRIO

As Tabelas 4 a 9 apresentam os períodos de aberturas de janelas e esquadrias, percentual de abertura e períodos que foram utilizados sistemas de climatização dos ambientes, dos dois apartamentos.

Tabela 4 – Horários de abertura e fechamento de janelas e persianas e uso de condicionamento artificial – Apto. 1, Sala de estar

Apartamento 1 – Sala de estar (Janela 1)					
Dia	Horário de abertura de janelas	Tamanho da abertura da janela	Horário de abertura da persiana	Tamanho da abertura da persiana	Climatização artificial
14/jun	Não abre	0%	Abre 24 horas	100%	Não
15/jun	Não abre	0%	Abre 24 horas	100%	Não
16/jun	Não abre	0%	Abre 24 horas	100%	14h00min-5h30min
17/jun	Não abre	0%	0h00min-17h00min	100%	Não
18/jun	Não abre	0%	9h00min-0h00min	100%	Não
19/jun	Não abre	0%	0h00min-9h00min 9h00min-0h00min	100% 70%	Não
20/jun	Não abre	0%	0h00min-9h00min 9h00min-17h00min	70% 100%	Não

Tabela 5 – Horários de abertura e fechamento de janelas e persianas e uso de condicionamento artificial – Apto. 1, dormitório 1

Apartamento 1 – Dormitório 1 (Janela 2)					
Dia	Horário de abertura de janelas	Tamanho da abertura da janela	Horário de abertura da persiana	Tamanho da abertura da persiana	Climatização artificial
14/jun	Não abre	0%	9h00min-18h00min	100%	Não
15/jun	Não abre	0%	9h00min-18h00min	80%	Não
16/jun	Não abre	0%	Não abre	0%	Não
17/jun	Não abre	0%	9h00min-15h00min	10%	17h30min-19h30min
18/jun	Não abre	0%	Não abre	0%	13h00min-16h00min
19/jun	Não abre	0%	Não abre	0%	20h30min-21h30min
20/jun	10h20min-11h00min	50%	9h00min-17h00min	100%	Não

Tabela 6 – Horários de abertura e fechamento de janelas e persianas e uso de condicionamento artificial – Apto. 1, Dormitório 2

Apartamento 1 – Dormitório 2 (Janela 3)					
Dia	Horário de abertura de janelas	Tamanho da abertura da janela	Horário de abertura da persiana	Tamanho da abertura da persiana	Climatização artificial
14/jun	Não abre	0%	Não abre	0%	23h00min-4h00min
15/jun	Não abre	0%	12h30min-18h00min	10%	16h30min-7h30min 21h50min-2h50min
16/jun	Não abre	0%	Não abre	0%	15h30min-6h00min 23h00min-4h00min
17/jun	Não abre	0%	Não abre	0%	20h30min-1h30min 23h00min-4h00min
18/jun	9h00min-15h00min	10%	9h00min-15h00min	10%	Não
19/jun	Não abre	0%	Não abre	0%	Não
20/jun	9h00min-6h00min	10%	09h00min-16h- 00min	20%	19h00min-19h30min 22h30min-0h30min

Tabela 7 – Horários de abertura e fechamento de janelas e persianas e uso de condicionamento artificial – Apto. 2, Sala de estar

Apartamento 2 – Sala de estar (Janela 4)					
Dia	Horário de abertura de janelas	Tamanho da abertura da janela	Horário de abertura da persiana	Tamanho da abertura da persiana	Climatização artificial
14/jun	7h30min-11h30min	10%	Abre 24 horas	50%	17h30min-8h30min
15/jun	7h20min-8h30min	10%	7h30min-17h00min	40%	Não
16/jun	7h30min-12h00min	10%	7h30min-17h00min	100%	Não
17/jun	Não abre	0%	7h30min-17h00min	100%	Não
18/jun	7h30min-11h00min	10%	7h30min-17h00min	100%	Não
19/jun	Não abre	0%	7h30min-0h00min	40%	Não
20/jun	Não abre	0%	Abre 24 horas	40%	Não

Tabela 8 – Horários de abertura e fechamento de janelas e persianas e uso de condicionamento artificial – Apto. 2, dormitório 1

Apartamento 2 – Dormitório 1 (Janela 5)					
Dia	Horário de abertura de janelas	Tamanho da abertura da janela	Horário de abertura da persiana	Tamanho da abertura da persiana	Climatização artificial
14/jun	7h30min-1h30min	10%	7h30min-3h00min	80%	Não
15/jun	7h30min-9h00min	40%	7h30min-3h00min	100%	Não
16/jun	Não abre	0%	7h30min-3h00min	20%	16h00min-7h00min
17/jun	Não abre	0%	7h30min-3h00min	40%	9h00min-11h00min 17h00min-9h00min
18/jun	7h30min-1h00min	10%	7h30min-1h00min	100%	Não
19/jun	Não abre	0%	7h30min-6h00min	40%	Não
20/jun	Não abre	0%	7h30min-7h00min	50%	Não

Tabela 9 – Horários de abertura e fechamento de janelas e persianas e uso de condicionamento artificial – Apto. 2, Dormitório 2

Apartamento 2 – Dormitório 2 (Janela 6)					
Dia	Horário de abertura de janelas	Tamanho da abertura da janela	Horário de abertura da persiana	Tamanho da abertura da persiana	Climatização artificial
14/jun	Não abre	0%	Abre 24 horas	40%	Não
15/jun	Não abre	0%	Abre 24 horas	40%	Não
16/jun	Não abre	0%	Abre 24 horas	40%	Não
17/jun	Não abre	0%	Abre 24 horas	40%	Não
18/jun	Não abre	0%	Abre 24 horas	20%	Não
19/jun	Não abre	0%	Abre 24 horas	30%	Não
20/jun	Não abre	0%	Abre 24 horas	30%	Não

Através da análise das tabelas, é possível identificar que a aberturas de janelas não foi frequente durante o período analisado, devido ser um período muito frio. Na maioria das vezes foram identificadas a abertura de 10% das esquadrias, apenas para ventilação higiênica.

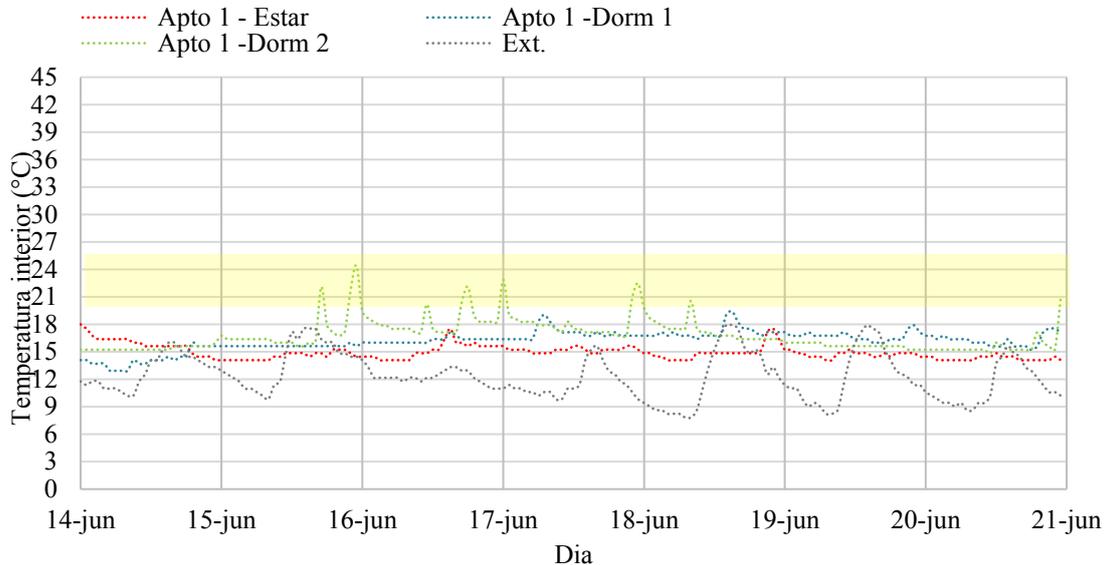
4.2 ANÁLISE DAS TEMPERATURAS INTERNAS

4.2.1 EDIFÍCIO REAL

Com o objetivo de verificar a influência da abertura de janelas no conforto interior é reali-

zada a análise das temperaturas internas de todos os ambientes. A Figura 10 apresenta as variações de temperatura do edifício real, nos três ambientes analisados, longo da semana.

Figura 10 – Temperaturas internas – apartamento 1 – edifício real



A partir da Figura 10, pode-se analisar que as temperaturas internas dos ambientes e a temperatura externa. Durante a semana analisada, a temperatura externa teve como máximo 17,9°C e mínimo de 7,83°C. A amplitude térmica média da semana foi de 7,30°C e a temperatura média de 12,42°C.

Pode-se notar que todos os ambientes apresentaram uma temperatura interna operativa de desconforto. As temperaturas internas permaneceram na maior parte na média dos 16°C. As temperaturas da sala de estar permaneceram constantes, na maior parte do tempo próximas dos 15°C. Nesse ambiente não houve abertura de janelas durante o período de análise.

No dormitório 1 a abertura de janelas ocorreu apenas no dia 20/06 no período entre 10h20min até 11h00min, com isso verificou-se uma leve redução de 0,5°C na temperatura interior.

O dormitório 2 apresentou picos onde as temperaturas chegaram próximas dos 24°C, devido ao uso de climatização artificial para aquecer o ambiente. Neste ambiente, a abertura de janelas de 10% no dia 18/06, das 9h00min às 15h00min, fez com que a temperatura do ambiente diminuísse 3,81°C. No dia 20/06, apesar da abertura de 10% da janela, não ocorreu variação da temperatura interna.

Através da análise da Figura 11, pode se analisar que as temperaturas internas permanecem na maior parte do tempo na faixa dos 15°C. No ambiente da sala de estar, ocorre a abertura de 10% das janelas nos períodos da manhã, nos dias 14, 15, 16 e 18 de junho, porém não influencia na temperatura interior.

O dormitório 1 apresentou picos de temperaturas mais altas, devido o uso de climatização artificial para aquecimento. A abertura de janelas de 10% no dia 14/06, durante o período da manhã não influenciou na temperatura interna. Foi observado no dia 15/07 que a abertura de 40% da janela no período da manhã, fez com que a temperatura interna caísse 0,4°C.

O dormitório 2 apresentou temperaturas constantes na faixa dos 15°C. Nesse ambiente não há abertura de janelas no período analisado.

Observa-se que em todos os ambientes onde é utilizada climatização artificial para aquecimento, o ambiente não consegue manter o calor produzido, após o desligamento do equipamento.

4.2.2 MODELO NO ENERGY PLUS

As Figuras 12 e 13 apresentam as temperaturas internas dos apartamentos 1 e 2, respecti-

Figura 11 – Temperaturas internas – apartamento 2 - edifício real

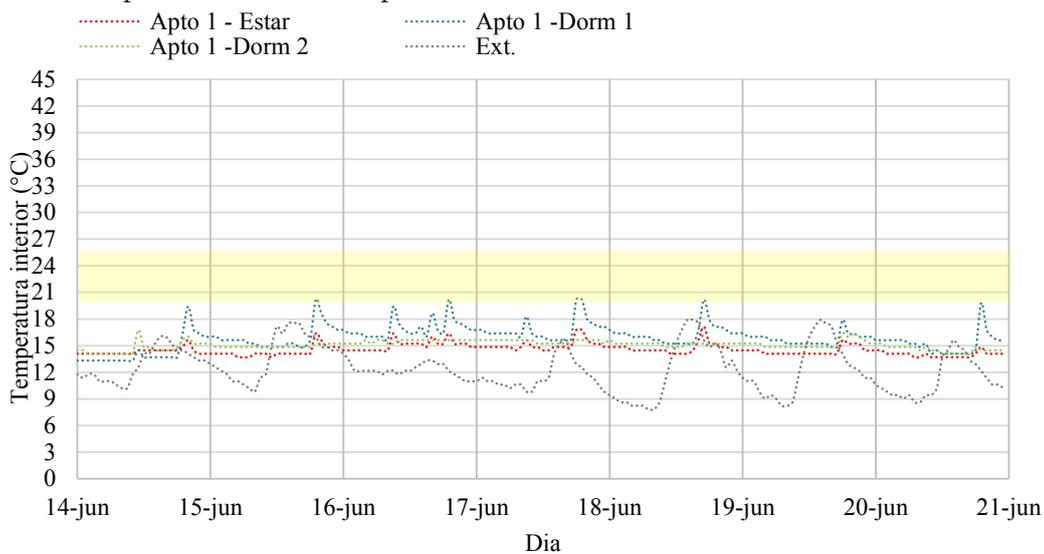


Figura 12 – Temperaturas internas – apartamento 1 - modelo *Energy Plus*

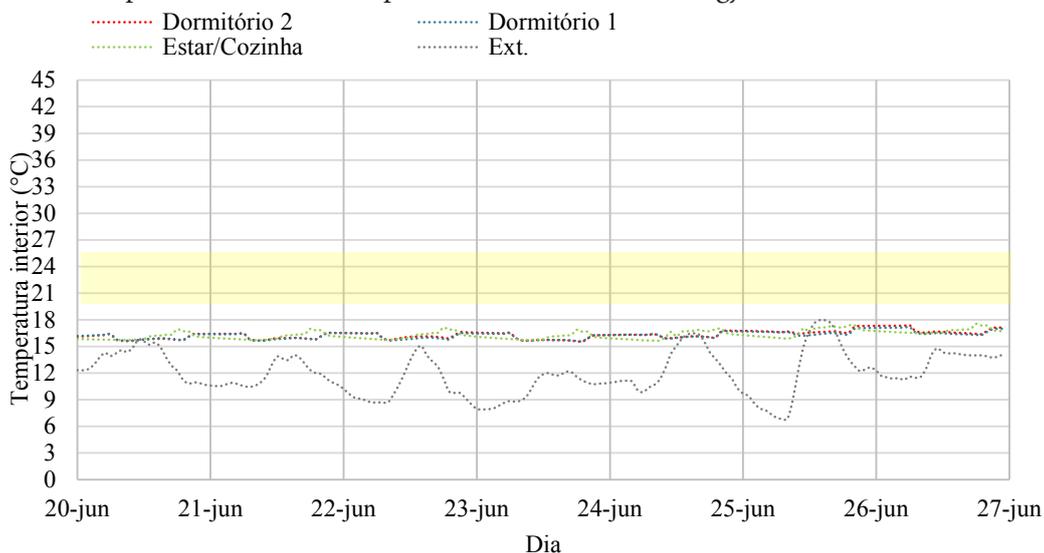
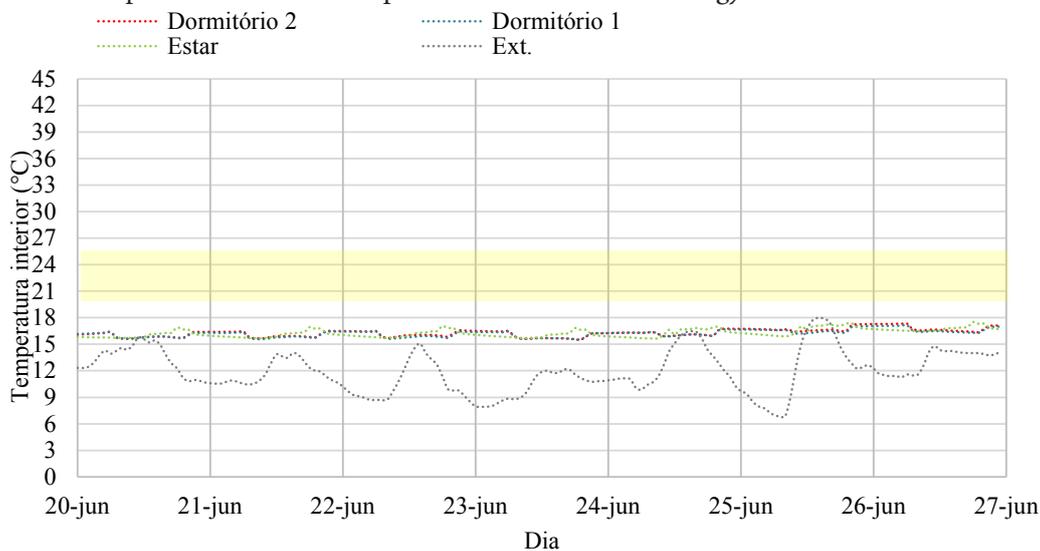


Figura 13 – Temperaturas internas – apartamento 2 - modelo *Energy Plus*



vamente, do modelo de simulação, de acordo com o RTQ-R. Nota-se que em todos os ambientes dos dois apartamentos as temperaturas permanecem constantes, na faixa dos 16°C. Durante o período de análise não houve renovação do ar interior por ventilação natural, devido à temperatura interna estar sempre abaixo dos 20°C.

4.3 ANÁLISE DE GRAUS-HORA

4.3.1 ANÁLISE DE GRAUS-HORA DO EDIFÍCIO REAL

Foi realizada a análise de graus-hora de aquecimento, com temperatura base 20°C, durante o período de uma semana (14/06 – 20/06), os resultados são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados de graus-hora de aquecimento – edifício real

Apartamentos	Ambiente	GH _A
Apartamento 1	Sala de estar	846,77
	Dormitório 1	642,31
	Dormitório 2	556,92
Apartamento 2	Sala de estar	916,51
	Dormitório 1	694,94
	Dormitório 2	826,78

Através dessa análise, nota-se que os todos os ambientes apresentaram resultados elevados de graus-hora de aquecimento. O pior resultado ocorreu na sala de estar do apartamento 2, que apresentou 916,51 graus hora de aquecimento.

4.3.2 ANÁLISE DE GRAUS-HORA DO MODELO NO ENERGY PLUS

A Tabela 11 apresenta os resultados de graus-hora de aquecimento do modelo de simulação, no período entre os dias 20/06 à 26/06. Em todos os ambientes foram obtidos resultados muito elevados de graus-hora de aquecimento, em média de 625.

Tabela 11 – Resultados de graus-hora de aquecimento – modelo *Energy Plus*

Apartamentos	Ambiente	GHA
Apartamento 1	Sala de estar	621,5059
	Dormitório 1	628,3214
	Dormitório 2	617,2061
Apartamento 2	Sala de estar	626,569
	Dormitório 1	635,5298
	Dormitório 2	621,8776

4.4 ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO

Nesta etapa é realizada a análise de conforto térmico pelo Modelo adaptativo da ASHRAE *Standard 55*.

4.4.1 ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO DO EDIFÍCIO REAL

Como mostra a Figura 14, 15 e 16, no apartamento 1, todos os ambientes apresentaram mais de 90% de desconforto por frio. A análise foi feita no período de uma semana, com as temperaturas internas medidas no local.

Figura 14 – Percentual de horas em conforto e desconforto na Sala de estar – ap 1

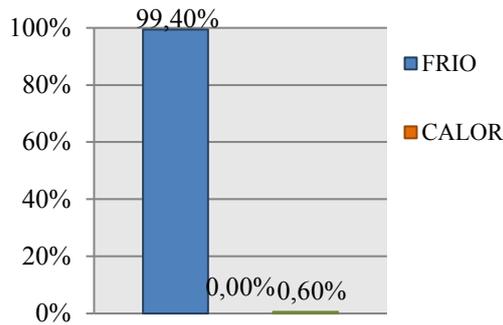


Figura 15 – Percentual de horas em conforto e desconforto no dormitório 1 – ap 1

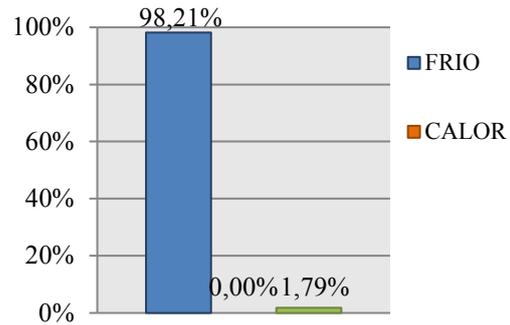
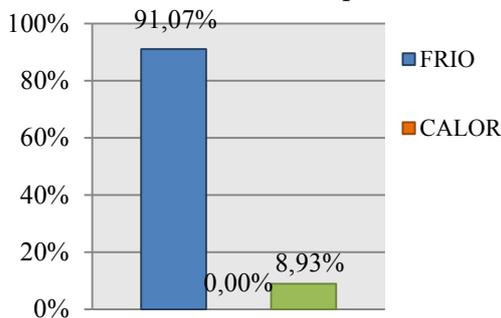


Figura 16 – Percentual de horas em conforto e desconforto no dormitório 2 – ap 1



As Figuras 17, 18 e 19 apresentam o percentual de conforto e desconforto do apartamento 2, calculadas com as temperaturas internas medidas no local. Nota-se, que os ambientes da sala de estar e dormitório 2 apresentaram 100% de desconforto por frio durante o período de análise. Enquanto o dormitório 1 apresentou 95,81% de desconforto por frio.

Figura 17 – Percentual de horas em conforto e desconforto na sala de estar – ap 2

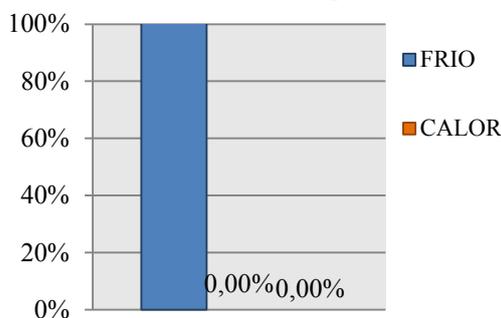


Figura 18 – Percentual de horas em conforto e desconforto no dormitório 1 – ap 2

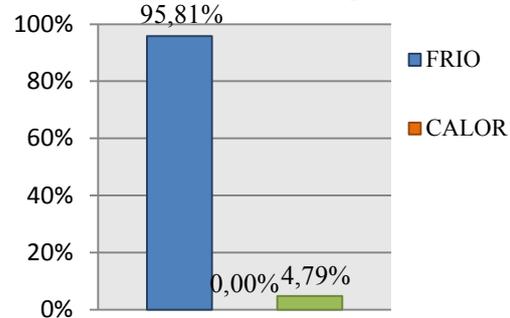


Figura 19 – Percentual de horas em conforto e desconforto no dormitório 2 – ap 2

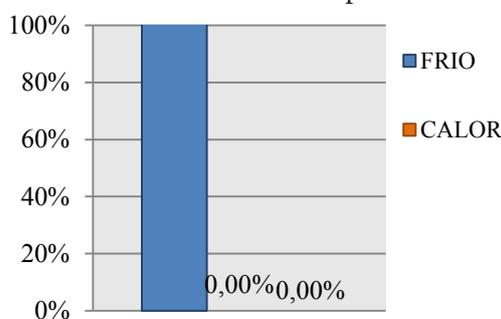
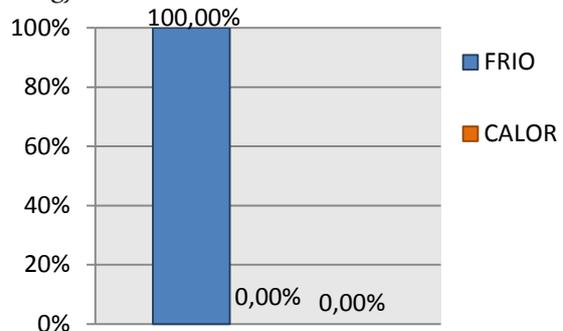


Figura 20 – Percentual de horas em conforto e desconforto em todos os ambientes - modelo EnergyPlus



4.4.2 ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO DO MODELO NO ENERGY PLUS

A Figura 18 representa o percentual de horas de conforto e desconforto do modelo de simulação, onde todos os ambientes tiveram o mesmo resultado, que foi de 100% de desconforto por frio. Isso ocorreu devido a semana analisada ser muito fria.

4.5 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MODELOS

Comparando os resultados (Tabela 12) entre o edifício real e o modelo de simulação, configurado de acordo com o RTQ-R, nota-se que nos dois casos foram obtidos resultados semelhantes. O edifício real apresenta temperaturas menores que o modelo do *Energy Plus*, em média 0,7°C. A diferença ocorre devido vários fatores: diferença das temperaturas externas reais com o arquivo climático, diferença dos ganhos de cargas internas, ocupação, iluminação e equipamentos.

5 CONCLUSÕES

Com este estudo, conclui-se a abertura de janelas não é frequente durante o período frio e que, quando ocorridas pouco influenciaram na temperatura interior dos ambientes. Devido o estudo ser realizado em uma época do ano muito fria, não foi possível identificar grandes mudanças nas temperaturas internas devido a abertura de janelas, por isso existe a necessidade de repetir o trabalho no período de verão. Mesmo assim, ressalta-se a importância da renovação do ar interior, mesmo durante o inverno.

Todos os casos avaliados apresentaram desconforto por frio, devido à alta transmitância térmica da envolvente opaca e transparente do edifício e à baixa estanqueidade das esquadrias, que ocasiona grandes trocas térmicas entre o interior e o exterior da edificação.

Analisando as temperaturas internas medidas no local através do método adaptativo, durante uma semana de inverno, é verificado desconforto por frio de mais de 90% em todos os ambientes do apartamento 1, Figuras 14, 15 e 16. Nota-se que no apartamento 2, Figuras 17, 18 e 19, os ambientes da sala de estar e dormitório 2 apresentaram 100% de desconforto por frio durante o período de análise. Enquanto o dormitório 1 apresentou 95,81% de desconforto por frio.

Através da simulação, os dois apartamentos apresentaram 100% de desconforto por frio em todos os ambientes.

Através da comparação das temperaturas medidas no local e dos modelos de simulação, nota-se que os resultados obtidos foram semelhantes, com uma diferença de apenas 0,7°C, o que confirma a confiabilidade do modelo.

O trabalho contribui com um método de avaliação, que poderá ser aplicado em outros estudos em diferentes períodos do ano.

REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15220: Desempenho Térmico para Edificações de Interesse Social*. Rio de Janeiro, ABNT, 2005.
- ASHRAE - AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERING. *Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy*. ASHRAE: Atlanta, 2004.

Tabela 12 – Temperaturas máxima, mínima e média dos dois modelos

Apartamento	Ambientes	Edifício real			Modelo Energy Plus		
		Máxima (°C)	Mínima (°C)	Média (°C)	Máxima (°C)	Mínima (°C)	Média (°C)
Ap 1	Estar	21,33	14,09	14,96	17,18	15,58	16,26
	Dorm 1	19,42	12,93	16,17	17,39	15,54	16,33
	Dorm 2	24,40	14,85	16,79	17,55	15,66	16,30
Ap 2	Estar	17,14	13,7	14,54	17,51	15,65	16,27
	Dorm 1	20,19	13,32	15,87	17,16	15,54	16,21
	Dorm 2	16,76	14,09	15,08	17,35	15,50	16,29

- BATISTA, Juliana; LAMBERTS, Roberto. Efeito da ventilação natural e da ventilação mecânica noturna no desempenho térmico da casa eficiente em Florianópolis. In: *ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, nº 10., 2009, Natal, RN.
- CCRA, Condomínio Conjunto Residencial Aldeia. Disponível em <<http://residencialaldeia.com.br/ccra/>>. Acesso em: jul. 2016.
- CIBSE. *Environmental design*, CIBSE Guide A, (seventh ed), Chartered Institution of Building Services Engineers, London, 2006.
- CUNHA, Eduardo G. *Elementos de arquitetura de climatização natural: método projetual buscando a eficiência energética das edificações*. Passo Fundo: editora UPF, 2004.
- FROTA, Anésia B.; SCHIFFER, Sueli R. *Manual de conforto térmico*. 2ª Ed. São Paulo: Studio Nobel, 1995.
- GIVONI, B. *Comfort, climate analysis and building design guidelines*. Energy and Building, vol.18, 1992.
- INMETRO, INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. *Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R*. Eletrobrás, INMETRO, 2012.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. *Eficiência Energética na Arquitetura*. 3ªed. São Paulo: Editora ProLivros, 2014.
- MASCARÓ, Lúcia. *Energia na Edificação: estratégias para minimizar seu consumo*. São Paulo: Ed. Projeto, 1985.
- MOTA, Raquel R. S.. *Análise das condições de uso e ocupação de HIS, localizadas na cidade de Pelotas - ZB2, preconizadas no RTQ-R no método de simulação computacional*. Dissertação de mestrado, PROGRAU – UFPEL, Pelotas, 2016.
- NAURB – UFPEL - Núcleo de Pesquisa e Extensão em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Acervo sobre habitação de interesse social. Pelotas. RS. 2014.
- ORNSTEIN, S.; ROMÉRO, M. *Avaliação Pós-Ocupação do Ambiente Construído*. São Paulo: Nobel, 1992.
- VERDELHO, Sara I. C. *Avaliação do potencial de arrefecimento de edifícios através da ventilação natural*. Dissertação de mestrado, Departamento de engenharia civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto-PT, 2008.

User's influence on thermal comfort of a building due to windows operation

ABSTRACT

Natural ventilation is one of the most efficient strategies to remove accumulated heat load within the environments and is also important for the renewal of indoor air. The main objective of the paper is to analyze user behavior in relation to windows operation in two residential apartments located in the city of Pelotas. It also aims to analyze the influence of opening windows in the apartments thermoenergetic performance and compare actual use to the recommended settings in RTQ-R held through computer simulation with the Energy Plus software. By analysis it was observed that during the winter period is not frequent opening windows by users and, if present, does not significantly interfere in the internal temperature. Due to the building being little tight and high transmittance thermal environments remain at low temperatures. Comparing temperatures of the actual model with the Energy Plus model, it is observed that the real model has lower temperature on average 0.7 ° C.

Keywords: Thermal comfort. Energy efficiency. RTQ-R. Natural ventilation.

Endereço para contato:

Eduardo Grala da Cunha

Laboratório de Conforto e Eficiência Energética, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Universidade Federal de Pelotas

Rua Benjamin Constant, 1359

Pelotas/RS – Brasil