

AValiação de desempenho do conforto térmico de casa protótipo na fazenda modelo da UFMG

**Isabela Braz Rossetti (1); Natália de Oliveira Ravagnani (2); Washington Gomes (3);
Cristiane Silveira de Lacerda (4); Eleonora Sad de Assis (5)**

(1) Estudante de Graduação em Arquitetura e Urbanismo na UFMG, isabelabrossetti@gmail.com, Rua Pouso Alto, 615, apto 401, Serra, Belo Horizonte - MG, 30240-180, Tel.: (31) 99480.0966

(2) Estudante de Graduação em Arquitetura e Urbanismo na UFMG, natalia.ravag@gmail.com, Rua Flor de Fogo, 65, Bloco 7, Apto 802, Liberdade, Belo Horizonte - MG, 31270-217, Tel.: (31) 991224708

(3) Estudante de Graduação em Arquitetura e Urbanismo na UFMG, costawashington@msn.com, Av. Fleming, 1000, apto 301, bloco 6. B. Ouro Preto, Belo Horizonte - MG, 31310-490, Tel: (31) 983167962.

(4) Doutoranda e mestre em ambiente construído e patrimônio sustentável pela EA-UFMG, lacerda_cristiane@hotmail.com, Alameda do Ingá, 150/601, Vale do Sereno, Nova Lima - MG - 34.000-000, Tel.: (31) 99981.3261.

(5) D.Sc., Professora do Dep. Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo, elsad@ufmg.br, UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais, Rua Paraíba, 697, Funcionários, Belo Horizonte/MG, 30130.140, Tel.: (31) 99616.7717.

RESUMO

O objeto do presente artigo é investigar o desempenho e o conforto térmico de casa protótipo edificada na Fazenda Modelo da UFMG, localizada no município de Pedro Leopoldo em Minas Gerais. Construída com blocos de rejeito de mineração, no bojo das pesquisas em prol do aproveitamento dos resíduos e mitigação dos seus impactos ambientais com vistas à geração de benefícios econômicos, ambientais e sociais. A metodologia se desenvolve em duas abordagens: (1) análise de desempenho térmico utilizando a norma 15.575 (2013) e (2) a análise de conforto térmico utilizando a ISO 7726 (2005). As análises servem de subsídios à realização ou não de adaptações de projeto e construtivas para o aprimoramento do conforto térmico para os ocupantes da edificação. A casa protótipo apresentou um desempenho superior na situação de verão de acordo com a NBR 15575 (2013) e condições de conforto dentro dos 90% de aceitabilidade de acordo com o índice adaptativo ISO 7726. De forma geral, os ambientes da casa apresentaram uma ventilação adequada e condições térmicas agradáveis, o que se deve tanto à orientação da edificação quanto aos materiais empregados nas envoltórias. Entretanto, a cozinha e o quarto oeste-sul foram os ambientes que, apesar de apresentarem conformidade com a norma, poderiam ser trabalhados para melhorar a ventilação cruzada. Quanto à insolação, observa-se que a correta orientação da casa e a largura dos beirais do telhado foram fundamentais à função de proteção.

Palavras-chave: conforto térmico, avaliação de desempenho, ventilação natural, habitação de interesse social.

ABSTRACT

The objective of the present article is to investigate the performance and thermal comfort of a prototype house built at Fazenda Modelo, UFMG, located in the municipality of Pedro Leopoldo in Minas Gerais. It was built with mining waste blocks, in the bosom of research in favor of the use of waste and mitigation of its environmental impacts in order to generate economic, environmental and social benefits. The methodology is developed in two approaches: (1) thermal performance analysis using standard 15.575 (2013) and (2) thermal comfort analysis using ISO 7726 (2005). The analyzes serve as subsidies for the realization or not of adaptations of design and constructive for the improvement of the thermal comfort for buildings occupants. The prototype house presented a superior performance in the summer situation according to NBR 15575 (2013) and comfort conditions within the 90% acceptability according to the ISO 7726 adaptive index. Overall, the environments of the house were ventilated Adequate and pleasant thermal conditions, which is due to both the orientation of the building and the materials used in the wrappings. However, the kitchen and the west-south room were environments that, although conforming to the standard, could be worked to improve cross-ventilation. As to the insolation, it is observed that the correct orientation of the house and the width of the roof eaves were fundamental to the protection function.

Keywords: thermal comfort, performance analysis, natural ventilation, social interest housing.

1. INTRODUÇÃO

O rompimento de barragens de mineração no município de Mariana, Minas Gerais, ocorrido em novembro de 2015 destruiu, dentre outros, o distrito de Bento Rodrigues, quando a lama percorreu 600 km entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Este foi considerado o maior desastre do gênero da história mundial nos últimos 100 anos, devido ao volume de rejeitos despejados (de 50 a 60 milhões de metros cúbicos) (EBC, 2016). As figuras 1 e 2 retratam cenas do ocorrido.



Figura 1 - Distrito de Bento Rodrigues
Foto: Corpo de Bombeiros de MG, 2015.



Figura 2 – Distrito de Bento Rodrigues
Foto: Antônio Cruz/Agência Brasil.

Inegavelmente a dimensão do impacto impulsionou a reflexão sobre a necessidade de manipular os rejeitos de mineração de forma mais consciente e responsável, buscando mitigar principalmente a geração, a forma de disposição e por fim o seu aproveitamento. A mitigação dos rejeitos é ainda mais relevante tendo em vista que, somente no Minas Gerais, há 317 barragens deste tipo (Estado de Minas, 2015).

No ensejo das pesquisas em prol do aproveitamento dos rejeitos de mineração, o Centro de Produção Sustentável da UFMG, localizado na Fazenda Modelo (figura 3), abriga o Laboratório de Geotecnologias e Geomateriais - LGG (figura 4) onde esses rejeitos estão sendo testados como matéria prima para a fabricação de blocos de alvenaria para habitação de interesse social.



Figura 3 - Vista aérea da Fazenda Modelo
Foto: UFMG/Divulgação.



Figura 4 - LGG/Escola de Engenharia, no CPS
Foto: Eleonora S. Assis, nov/2016.

No processo da pesquisa um protótipo de habitação de interesse social foi edificado na Fazenda Modelo a fim de testar a aplicabilidade dos blocos.

2. OBJETIVO

O objeto do presente artigo é investigar o conforto térmico deste protótipo, considerando que além de atender aos requisitos de desempenho térmico, a habitação deve também apresentar condições de conforto térmico aos seus usuários.

Esta verificação se dará por meio da sobreposição dos resultados das normas aplicáveis: Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais (NBR 15575/2013), e Ergonomia do ambiente térmico - Instrumentos para medição de grandezas físicas (ISO 7726/2005). Além dessas, avaliações de simulações computacionais de insolação e da ventilação do protótipo, permitirão a identificação dos aspectos construtivos positivos e negativos da edificação.

2.1 Apresentação do caso de estudo

A edificação estudada, a Casa Protótipo N°2 (CP2), está localizada na Fazenda Modelo da UFMG, situada no município de Pedro Leopoldo, no Estado de Minas Gerais. A fazenda está localizada em uma região de clima tropical úmido. De acordo com a NBR 15220 - Norma de Desempenho Térmico de edificações (2005), na zona bioclimática 2. Entre as recomendações da norma para esta zona, as paredes devem ser “leves” e a cobertura “leve isolada”. Quanto à ventilação, a recomendação é de que as aberturas sejam “médias”. A estratégia sugerida de condicionamento passivo é a “ventilação cruzada” para as condições de verão. Quanto à insolação, a única recomendação é de que o sombreamento das aberturas permita a insolação durante o inverno (ABNT, 2005, Parte 3, p.5).

A Fazenda Modelo foi criada pelo Governo Federal em 1920 como iniciativa de fomento à agropecuária, mas foi gradativamente desativada e adaptada para outros usos (Escola de Veterinária da UFMG, 2017). Hoje, ela foi transformada no Centro de Produção Sustentável, abrigando projetos de pesquisa da universidade. O trabalho de pesquisa com o foco em sustentabilidade na área de mineração teve início no Laboratório de Geotecnologias e Geomateriais (LGG) da UFMG. O LGG objetiva o desenvolvimento de processos e materiais que permitam uma intervenção no meio ambiente, “no sentido de eliminar totalmente estéreis, rejeitos, refugos e resíduos da mineração (...)” (ELO, 2017, p.-). Daí surgiu a criação do bloco fabricado a partir de rejeitos e, na sequência sua aplicação na CP2, totalmente edificada com esse novo material.

A edificação de 46 m² possui uma pequena varanda, uma sala, uma cozinha, dois quartos e um banheiro (figura 5 e 6). O pé direito de 2,60 m é coberto por uma laje de concreto com preenchimento de isopor, com 10 cm de espessura, e uma cobertura de telhas plásticas pré-fabricadas.

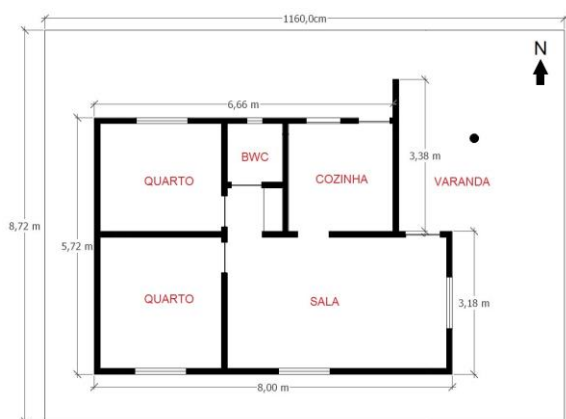


Figura 5 - Planta baixa Casa Protótipo
Fonte: “as built” dos autores, 2017.



Figura 6 - Casa Protótipo
Foto: Abdias M. Gomes, 2015.

O bloco produzido com rejeito de minério é processado em um forno de calcinação chamado Flex (figura 7), de acordo com Evandro da Gama (PESQUISA FAPESP, 2016). A proposta dos blocos é a de dispensar a argamassa de assentamento e a utilização de blocos especiais para amarração. Assim, os blocos incorporam o espaçamento de 10 mm previsto para a argamassa. Portanto, suas dimensões são de 375x125x200 mm, e sua geometria facilita o corte dos blocos (PADOVANI, 2017).



Figura 7 – Bloco de rejeitos de minério
Fonte: PADOVANI, 2017.

3. METODOLOGIA

Tratando-se da avaliação de uma edificação o procedimento normativo desenvolveu-se em duas abordagens: (1) análise de desempenho térmico utilizando a norma 15.575 (2013) e (2) a análise de conforto térmico utilizando a ISO 7726 (2005). A norma recomenda as seguintes etapas: medição in loco das condições climáticas locais que devem reproduzir o dia típico determinado pela norma (quadro 1). No presente caso, o estudo foi feito para o dia típico de verão. Determinação do nível de desempenho estabelecido em superior (quadro 2) conforme a NBR 15575 (2013). Além disso, foram avaliadas as condições de conforto térmico de acordo com o índice adaptativo da ISO-7726 (2005) por meio de simulação computacional das condições de insolação e ventilação.

Uma vez que a cidade de Pedro Leopoldo não consta nas tabelas da norma, a mesma recomenda utilizar os dados da cidade mais próxima, que no caso é Belo Horizonte. Os valores de temperatura do ar exterior para os dias típicos de verão estão contidos no quadro 1:

Quadro 1 - Dados de dias típicos de verão de Belo Horizonte

Fonte	Temperatura máxima diária °C	Amplitude diária de temperatura °C	Temperatura de bulbo úmido °C	Radiação solar Wh/m2	Nebulosidade décimos
Tabela A2 - NBR 15575 (2013)	32	10,3	21,7	4641	6

Verificada a compatibilidade do dia analisado com um dia típico de verão, pode-se identificar o nível de desempenho da edificação, de acordo com a NBR-15575 (2013).

Quanto à determinação do nível de desempenho, observam-se os critérios contidos no quadro 2, que determina os valores máximos e mínimos de temperatura para cada faixa de desempenho de acordo com as condições de verão.

Quadro 2 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Critério
	Zonas 1 a 7
M (Mínimo)	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
I (Intermediário)	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^\circ \text{C})$
S (Superior)	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^\circ \text{C})$

T_{i,max} é o valor diário de temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.
T_{e,max} é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.

Fonte: NBR 15575, Anexo E.1 (ABNT, 2013)

3.1 Medições in loco e tratamento de dados

As medições foram feitas de acordo com os procedimentos do Anexo A do primeiro capítulo da NBR 15575 (2013). Foram utilizados aparelhos HOBO U12-012 (Figura8), da marca *Onset*, que registram os dados de temperatura (°C) e umidade relativa (%). Três aparelhos aferidos na Estação Meteorológica de Belo Horizonte, foram instalados para o monitoramento, um na fachada externa a sul (figura 9), outro no quarto de orientação oeste e outro na cozinha com orientação norte (figura 10), posicionados dentro de um abrigo confeccionado de acordo com as recomendações de Barbosa et al (2008).



Figura 8 – Equipamento HOBO

Fonte: <http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u12-013>



Figura 9 - Equipamento HOBO montagem na fachada sul
Foto: Eleonora S. Assis, nov 2016.



Figura 10 – Montagem do equipamento HOBO
Foto: Eleonora S. Assis, nov 2016.

As montagens foram instaladas no centro dos ambientes internos, com os sensores posicionados a 1,2 metros de altura do piso, em tripés. O sensor não deve encostar-se a qualquer objeto, pois desta forma é captada unicamente a temperatura e a umidade do ar.

A medição (tabela 1) compreendeu o período entre os dias 31 de outubro a 07 de novembro de 2016. Na figura 11, observa-se a variação da temperatura externa neste período. Foi determinada uma sequência de três dias estáveis, entre os quais o terceiro é selecionado para análise, conforme estabelecido pela norma, com o objetivo de identificar um dia típico de verão. Portanto, o dia analisado foi o dia 03/11/2016.

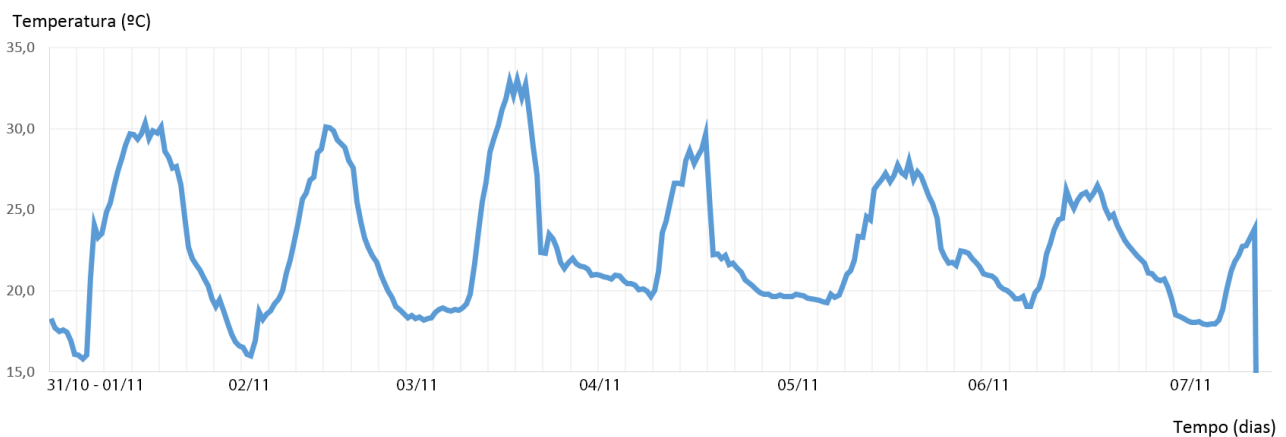


Figura 11 – Gráfico da variação da temperatura

Tabela 1: “Dia típico” de verão x dados medidos

Local	T_{ex} (°C)	A (°C)	T_{BU} (°C)	I (Wh/m ²)	N (dec)
Belo Horizonte (norma)	32,0	10,3	21,7	4641,0	6
Belo Horizonte (estações)	31,3	10,6	19,7	6067,6	6
Casa-Protótipo#2	33,0	14,8	25,7	-	-

Legenda: T_{ex} – temperatura máxima diária; A – amplitude diária de temperatura; T_{BU} – temperatura do ar úmido; I – irradiação solar total diária; N – nebulosidade.

3.2 Desempenho de acordo com o índice adaptativo

A avaliação de conforto térmico foi realizada através da observação da norma ISO-7726 (2005). Foi definida a chamada temperatura operativa ou de neutralidade, que “é o estado físico no qual todo calor gerado pelo organismo, através do metabolismo, seja trocado em igual proporção com o ambiente ao redor, não havendo

acúmulo de calor, nem perda excessiva do mesmo, mantendo a temperatura corporal constante” (LAMBERTS, 201 -). Elaborada por De Dear e Bragger (1997), a fórmula da temperatura de neutralidade foi desenvolvida através de diversas respostas térmicas de voluntários a determinados ambientes interiores. Essa temperatura pode ser calculada através da equação 1:

$$T_n = (0,310 * T_m) + 17,8^{\circ}\text{C} \quad \text{Equação 1}$$

Onde: T_n é de neutralidade
 T_m é a temperatura média

Após calcular a temperatura de neutralidade, esta foi sobreposta aos dados das temperaturas medidas do exterior, do quarto e da cozinha em um gráfico em Excel. A partir da linha de temperatura de neutralidade, o índice adaptativo estabelece duas faixas de variação de temperatura, uma de 80% de aceitabilidade (oscilação de $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$) e outra de 90% de aceitabilidade (oscilação de $\pm 2,0^{\circ}\text{C}$). As porcentagens de aceitabilidade representam a quantidade de tempo diária em que a temperatura ambiente é agradável à maioria de uma população. Portanto, é recomendável que a variação de temperatura da edificação esteja, no mínimo, dentro da faixa de 80% de aceitabilidade.

3.3 Simulação das condições de insolação

Para simular as condições de insolação, a edificação foi modelada no programa “Sketch up”. Para tanto, foram estabelecidas no programa as coordenadas geográficas do local ($19.641596^{\circ}\text{ S}$; $44.053863^{\circ}\text{ W}$) e observou-se a correta orientação ao norte da edificação de acordo com os parâmetros do programa. A simulação do trajeto solar foi realizada para três horários distintos (9h, 12h, 15h), para o dia de solstício de verão (22 de dezembro), solstício de inverno (21 de junho) e para os equinócios de primavera (23 de setembro) e outono (21 de março). Os horários de 9, 12 e 15 horas foram assim definidos por abrangerem o período do dia em que a edificação deve ser protegida da insolação, devido ao alto nível de radiação solar.

3.4 Simulações das condições de ventilação

As condições de ventilação foram simuladas computacionalmente após a observação da direção predominante do vento.

3.4.1 Direção predominante do vento

A observação da direção predominante do vento foi realizada por Padovani (2017), por meio de registro em 10 pontos distintos do LGG. O levantamento foi feito nos períodos da manhã e da tarde em setembro de 2016. Foram utilizadas uma bússola e uma linha de algodão para determinar a direção em cada ponto; a linha deve estar amarrada a bússola de forma que seja possível identificar a direção indicada. Em seguida, foi feita a correção para o norte geográfico. Através do programa *Surfer*®, Padovani (2017) gerou as figuras 12 e 13 abaixo, que representam respectivamente a direção dos ventos de forma geral e a direção específica em cada um dos pontos. Na figura 13, a CP2 está marcada em vermelho.



Figura 12 – Direção do vento em cada ponto
 Fonte: Padovani, 2017

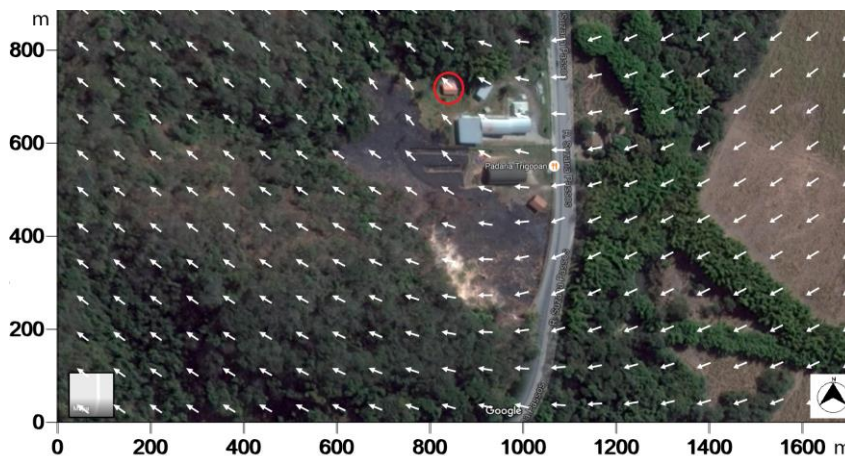


Figura 13 – Direção dos ventos
 Fonte: Padovani, 2017

Para a definição da direção predominante do vento, considerou-se a média em cada quadrante.

A velocidade do vento foi medida através de um anemômetro simples. A partir da velocidade predominante, encontrada através de uma média simples, realizou-se a simulação de ventilação interior no programa AIOLOS 1.1®.

3.4.2 Simulação computacional no AIOLOS 1.1®

A escolha do programa AIOLOS 1.1® justifica-se por ser um *software freeware* (gratuito) de simples interface, que permite simular as mudanças direcionais do fluxo de ar e as vazões de acordo com o posicionamento e o tamanho das aberturas da edificação. No entanto, a falta de atualização do programa exige que este seja executado em um computador com sistema operacional Windows XP.

Primeiramente, foram inseridos no programa os dados da temperatura externa medidos no local no dia 3/11/2016. As colunas da figura 14 correspondem respectivamente à: hora medida, temperatura externa (°C), velocidade do vento (m/s), direção do vento (em graus) e radiação solar (W/m²). Os dados locais de vento foram considerados constantes ao longo das 24 horas de simulação devido aos limites do levantamento descrito no item 3.5.1. Já os dados horários de radiação solar foram extraídos da Estação Meteorológica da Pampulha (INMET, 2016).

Figura 14 - Tela do programa AIOLOS 1.1® com os dados de entrada: temperatura do ar, velocidade do vento e radiação total

Location Latitude (0-90) 19,6416				
Time	Air Temperature (degC)	Wind Velocity (m/s)	Wind Direction (0-360)	Total Radiation (W/m ²)
1	18,3	1	145	0
2	18,7	1	145	0
3	18,9	1	145	0
4	18,7	1	145	0
5	18,8	1	145	0
6	19,2	1	145	0
7	21,7	1	145	4
8	25,5	1	145	152
9	28,5	1	145	510
10	30,2	1	145	663
11	31,8	1	145	809
12	32,1	1	145	951
13	31,9	1	145	773
14	30,9	1	145	797
15	27,1	1	145	846
16	22,3	1	145	393
17	23,2	1	145	49
18	21,7	1	145	60
19	21,7	1	145	60
20	21,7	1	145	0
21	21,5	1	145	0
22	21	1	145	0
23	20,9	1	145	0
24	20,8	1	145	0

Fonte: os autores, 2017.

Em seguida, foram inseridos os dados de volume (m³) e temperatura média (°C) correspondente a cada cômodo. O número de aberturas externas de cada cômodo (figura 15) é inserido na coluna *External openings*. O valor do pé direito (2,6 m) é inserido em *Reference height*.

Ambiente	Zone	Volume (m3)	Temperature (C)	External openings	External cracks	Reference height (m)
Cozinha	1	14,53	Input	2	0	2,60
Quarto (S-W)	2	20,54	Input	1	0	2,60
Sala	3	37,17	25,80	3	0	2,60
Circulação	4	3,09	25,20	0	0	2,60
Banheiro	5	4,18	25,80	1	0	2,60
Quarto (N-W)	6	16,88	26,00	1	0	2,60

Figura 15 - Tela do programa AIOLOS 1.1® com os dados de entrada: volume, temperatura média, quantidade de aberturas para o exterior e altura de referência.

Fonte: os autores, 2017.

A figura 16 mostra a inserção dos dados correspondentes às aberturas externas de cada ambiente. Em *opening*, está indicado o número de aberturas de cada cômodo. As colunas *width*, *top* e *bottom* correspondem respectivamente à largura da abertura, ao ponto mais alto e ao mais baixo da abertura em relação ao piso.

Os coeficientes de pressão foram extraídos dos gráficos de Irminger e Nokkentued (FROTA, SCHIFFER, 2001). Os valores positivos representam a entrada de ar, já os negativos a pressão de saída do ar do ambiente. A coluna *discharge coefficient* apresenta o valor recomendado por Frota e Schiffer (2001) para perda de carga na abertura de entrada. Em *orientation*, insere-se o azimute correspondente a fachada onde a abertura se encontra. Na coluna *schedule*, insere-se o período em que as aberturas permanecerão abertas ou fechadas. Já a coluna *tilt* refere-se ao ângulo do piso em relação à parede.

Figura 16 - Tela do programa AIOLOS 1.1® com os dados de entrada: dimensões das aberturas, coeficientes de pressão, azimute, orientação, schedule e ângulo com o piso

Ambiente	Zone	Opening	Width (m)	Top (m)	Bottom (m)	Pressure coefficient	Discharge coefficient	Orientation	Schedule	Tilt	Schedule: períodos considerados
Cozinha	1	1	0,70	2,10	0,00	-0,250	0,600	0	100	90	0h
	1	2	0,37	2,18	1,43	-0,300	0,600	0	1	90	8h-10h; 12h-19h
Quarto (S-W)	2	1	0,54	2,18	1,23	0,600	0,600	180	3	90	8h-23h
	3	1	0,80	2,10	0,00	-0,250	0,600	0	100	90	0h
Sala	3	2	0,54	2,18	1,23	0,600	0,600	90	3	90	8h-23h
	3	3	0,54	2,18	1,23	0,600	0,600	180	3	90	8h-23h
	5	1	0,28	2,18	1,63	-0,250	0,600	0	5	90	24h
Banheiro	5	1	0,28	2,18	1,63	-0,250	0,600	0	5	90	24h
Quarto (N-W)	6	1	0,54	2,18	1,23	-0,300	0,600	0	3	90	8h-23h

Fonte: os autores, 2017.

No caso das aberturas internas, ou seja, das portas, o programa recomenda como coeficiente de perda de carga (*discharge coefficient*), o valor de 0,90. Na coluna *width* deve ser inserida a largura de cada abertura. Em *top* insere-se o ponto mais alto da abertura em relação ao piso, e em *bottom* o ponto mais baixo. Os valores da coluna *discharge coefficient* (coeficientes de perda de carga) foram indicados pelo *software* para aberturas internas.

Mediante estes dados inseridos o programa calculou a vazão de ar em volume por hora para cada ambiente, sendo assim possível comparar com o padrão definido pela NBR 15575, equivalente a 5 m³/h.

4. RESULTADOS

4.1 Nível de desempenho de acordo com a NBR 15575

De acordo com as medições, a média da temperatura interna máxima ($T_{i,max.}$) foi igual a 25,2 °C e a média da temperatura interna mínima ($T_{i,min.}$) foi igual a 23,4 °C no dia típico de verão. Portanto, a edificação possui um nível de desempenho “Superior” para as condições de verão, uma vez que atende ao critério $T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4 \text{ °C})$, conforme o quadro 2.

4.2 Conforto térmico de acordo com a ISO 7726

Aplicando a equação 1 chega-se à temperatura média de 24,3 °C para o dia analisado e portanto à temperatura de neutralidade de 25,3°C.

$$T_n = (0,310 * T \text{ média}) + 17,8 \text{ °C} \quad \text{Equação 2}$$

$$T_n = 0,31 * 24,3 + 17,8 = 25,3 \text{ °C}$$

Em uma faixa de aceitabilidade de 80%, a variação foi de 21,8 °C a 27,8 °C. Em uma faixa de 90% a variação aceitável é de 22,8 °C a 26,8 °C. A figura 17 apresenta os resultados dessa variação de temperatura.

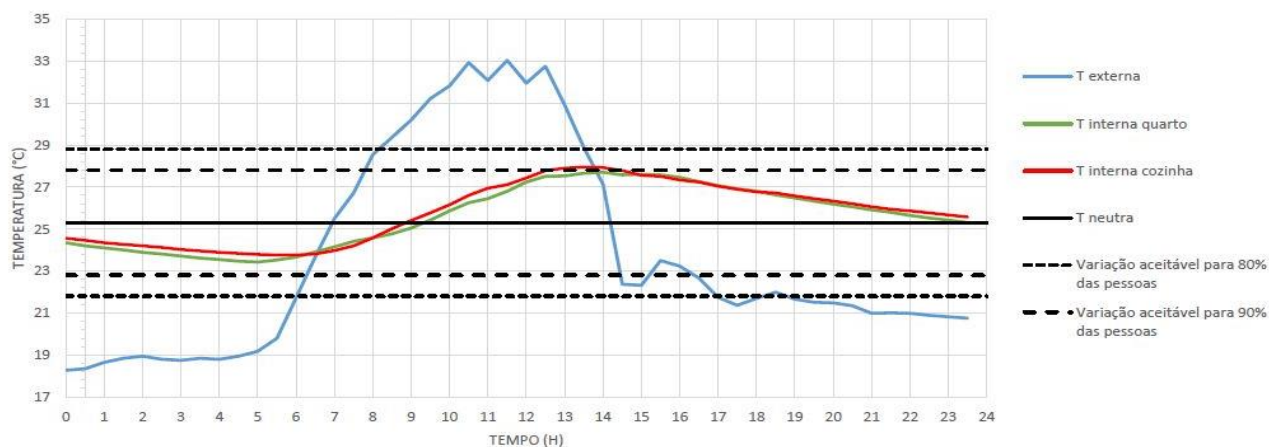


Figura 17 - Gráfico da variação da temperatura na CP2

Fonte: os autores, 2017.

Observa-se que as temperaturas internas estão quase totalmente dentro da faixa dos 90% de aceitabilidade, de acordo com o índice adaptativo adotado pela ISO 7726. A manutenção da temperatura interna é provida principalmente pela orientação da edificação no terreno e pela cobertura, que impede a transmissão do calor retido pelo telhado diretamente aos ambientes da casa.

4.3 Condições de insolação

Quanto aos aspectos positivos da insolação, observa-se que todas as aberturas da edificação, exceto a janela da sala, localizada na fachada leste, oferecem proteção suficiente durante todos os dias do ano. Isso se deve não somente à orientação da casa, mas também às projeções dos beirais do telhado, com uma projeção de 90 cm, maior que as projeções definidas nas casas típicas dos programas de habitação de interesse social. Além disso, na fachada norte, intervenção com a inserção de árvores ou alguma outra estratégia de sombreamento poderá contribuir para a proteção ainda maior dos ambientes da insolação direta.

Por outro lado, a ausência do beiral na fachada voltada para o oeste reduz a proteção dessa fachada quanto à insolação. O projeto apresenta como vantagem a não existência de janelas nessa fachada. Entretanto, o calor recebido pela alvenaria pode comprometer o conforto térmico dos quartos.

A abertura de janela da sala localizada na fachada leste não bloqueia o sol na parte da manhã até 11 horas em todas as estações do ano. Entretanto, este não é um problema grave, uma vez que a radiação durante esse período é desejável.

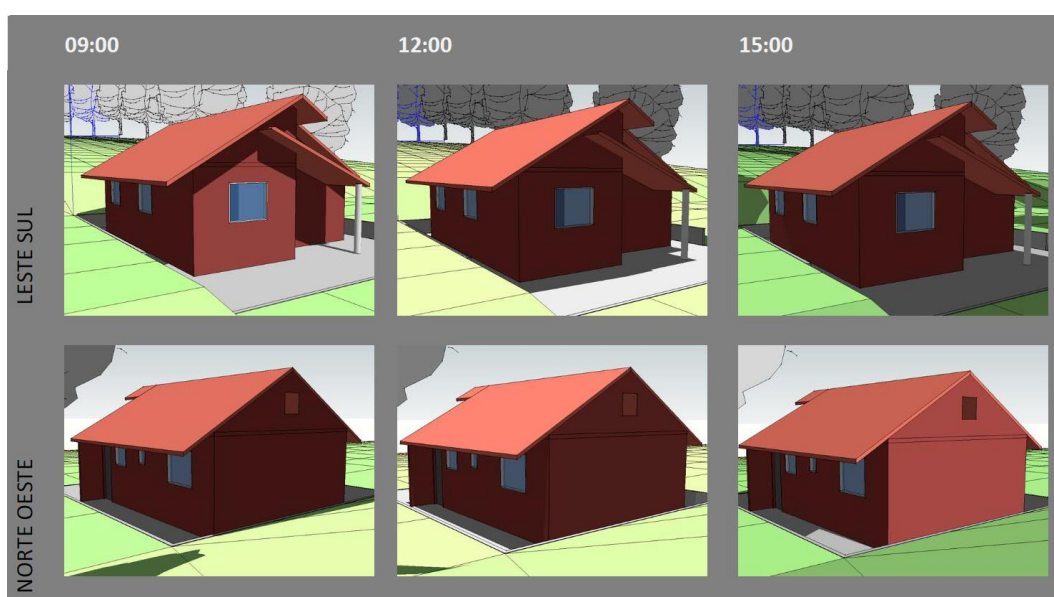


Figura 18 – Incidência da insolação nas fachadas no Solstício de Verão.

Fonte: os autores, 2017.

4.4 Condições de ventilação

Através da simulação foi verificado que as vazões de ar de cada cômodo superam a referência normativa da NBR 15575 (2013) de 5 renovações de ar por hora (vol./h), portanto, ‘Superior’, por isto, conclui-se que a edificação atende aos requisitos mínimos de ventilação da norma. Considerando que a edificação está localizada em uma região de clima tropical semiúmido, a ventilação cruzada é uma boa estratégia para remover o calor e o vapor dos ambientes, amenizando a sensação térmica desagradável dos dias mais quentes e úmidos.

5. CONCLUSÕES

A CP2 apresentou um desempenho superior na situação de verão de acordo com a NBR 15575 (2013) e apresenta condições de conforto dentro dos 90% de aceitabilidade de acordo com o índice adaptativo ISO 7726. De forma geral, os ambientes da casa apresentaram uma ventilação adequada e condições térmicas agradáveis, o que se deve tanto à orientação da edificação quanto aos materiais empregados nas envoltórias. Entretanto, a cozinha e o quarto oeste-sul foram os ambientes que, apesar de apresentarem conformidade com a norma, poderiam ser trabalhados para melhorar a ventilação cruzada. Quanto à insolação, observa-se que a correta orientação da casa e a largura dos beirais do telhado foram fundamentais à função de proteção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2 Desempenho térmico de edificações - parte 2:** métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.
- _____. **NBR 15220-3 Desempenho térmico de edificações - parte 3:** zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.
- _____. **NBR 15575 Edificações habitacionais - desempenho.** 2013.
- BARBOSA, Míriam Jerônimo; LAMBERTS, Roberto; GUTHS, Saulo. **Uso de barreiras de radiação para minimizar o erro no registro das temperaturas do ar em edificações.** Ambiente Construído, v.8, nº4, p.117-136, 2008.
- DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. S.; COOPER, D. J. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference – final report on ASHRAE RP 884.** American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, USA, 1997.
- EBC - EMPRESA BRASILEIRA DE COMUNICAÇÃO. **Desastre em mariana é o maior acidente mundial com barragens em 100 anos.** Disponível em <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2016-01/desastre-em-mariana-e-o-maior-acidente-mundial-com-barragens-em-100-anos>>. Publicado em 15/01/2016. Acesso em: outubro de 2016.
- ELO. **Laboratório de geotecnologia.** Disponível em: <http://elo.eng.ufmg.br/laboratorio.php?tit=laboratorio_de_geotecnologia&id=229>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2017.
- Escola de Veterinária da UFMG. **Pedro Leopoldo.** Disponível em: <http://www.vet.ufmg.br/fazendas/exibe/1_20070314111050/>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2017.
- Estado de Minas. **Minas tem quase 100 barragens sem fiscalização.** Disponível em: <http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2015/11/17/interna_gerais,708767/minas-tem-quase-100-barragens-sem-fiscalizacao.shtml> Acesso em: 13 de março de 2017.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. **Manual do conforto térmico.** 5ª edição, São Paulo, Nobel, 2001.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Estação meteorológica de observação de superfície automática - Belo Horizonte.** Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>>. Acesso em: outubro de 2016.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 7726 - **Ergonomics of the thermal environment - instruments for measuring physical quantities.** 1998.
- LAMBERTS, Roberto. **Desempenho térmico de edificações aula 2: conforto térmico.** Florianópolis, UFSC. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV%205161%20Aula%202%20-%20Conforto%20termico.pdf>> Acesso em: 28 de fevereiro de 2017.
- PADOVANI, Diego Bernabé. **Centro de desenvolvimento de construções sustentáveis na fazenda modelo da UFMG.** Trabalho de conclusão de curso. Escola de Arquitetura e Urbanismo da UFMG, 2017.
- PESQUISA FAPESP. **Rejeitos da mineração.** Fevereiro, 2016. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2016/02/19/rejeitos-da-mineracao/>>. Acesso em: 27 de maio de 2017.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao LGG - Laboratório de Geotecnologias e Geomateriais do Centro de Produção Sustentável da UFMG pelo acesso para o estudo da CP2. Ao Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da Escola de Arquitetura da UFMG, pela disponibilização de equipamentos e direcionamento do trabalho. Ao estudante Diego Bernabé Padovani, que contribuiu com os dados da pesquisa e com o modelo

da CP2. E aos estudantes Isabela Guerra Nonato, Thaíse Wenzel Tosin, Rogério Ribeiro e Verônica Toledo pela contribuição com o trabalho ao longo das aulas.

Agradecemos também ao apoio da FAPEMIG na publicação e participação no ENCAC 2017.