



XII Encontro Nacional e  
VIII Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído

25 a 27 de Setembro

## **ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO POR MEIO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL EM PROJETO DE ESCOLA PADRÃO DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

**Rodrigo M. Cerqueira (1); Iraci M. Pereira (2)**

(1) Arquiteto, Pós-graduado em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade aplicados ao Meio Ambiente pela UFMG, rodmalheiros@gmail.com

(2) Doutor, Professora do Departamento de Tecnologia de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Arquitetura da UFMG, iracipereira@ufmg.br

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Tecnologia de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Arquitetura da UFMG, Belo Horizonte / Minas Gerais.

### **RESUMO**

No estado de Minas Gerais, é comum o emprego de projetos padrões escolares para um atendimento mais ágil da crescente demanda por instituições de ensino. Estes projetos genéricos foram concebidos para serem utilizados em qualquer município dentro do estado e em qualquer orientação solar. O presente trabalho se propôs a analisar o conforto térmico de um desses projetos padrões em situações distintas, se utilizando para isso da ferramenta da simulação computacional. O objetivo foi estabelecer parâmetros comparativos entre as diversas situações estudadas para o atendimento das horas de conforto com ventilação natural, baseando-se para tanto, de alguns dos critérios estipulados pelo RTQ-C. Foram escolhidas para isso as cidades de Ibité, Araxá, Montes Claros e Governador Valadares, todas localizadas em diferentes zonas bioclimáticas do estado de Minas Gerais. As análises do comportamento das edificações nestes municípios se deram na orientação norte e em uma combinação de diferentes configurações de ventilação natural assim como a presença e ausência de brises horizontais de proteção solar. A edificação obteve resultados satisfatórios em cada município, porém, com estratégias diferenciadas para cada um. Conclui-se que é satisfatório o uso destes projetos padrões no Estado de Minas Gerais desde que para tanto haja um estudo adequado e individualizado de seu desempenho térmico na zona bioclimática a ser implantado.

Palavras-chave: projeto de padrões escolares, conforto térmico, simulação computacional, ventilação natural.

### **ABSTRACT**

In the state of Minas Gerais, school standard projects are commonly used to attend the growing demand for education institutions as a fast solution. These generic projects are designed to be used in any city within the mentioned state and at any solar orientation. This study aimed to analyze the thermal comfort of one of these projects patterns in different situations using computer simulation as a tool. The objective was to define parameters for comparison between the different studied situations for attendance of comfort hours with natural ventilation according to the RTQ-C criteria. The chosen cities were Ibité, Araxá, Montes Claros and Valadares, all located in different bioclimatic zones of the state of Minas Gerais. The analysis of buildings behavior in these cities were conducted considering the north orientation and a combination of different configurations of natural ventilation as well as the presence and absence of horizontal sun protection louvers. The building has achieved satisfactory results in each city, but with different strategies for each of them. We conclude that the use of these standards projects are satisfactory in the State of Minas Gerais if there is a proper individualized study of its thermal performance in the bioclimatic zone to be implemented.

Keywords: school standards projects, thermal comfort, computer simulation, natural ventilation.

## 1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que o desempenho térmico e energético de uma edificação está diretamente relacionado com as condições climáticas e geográficas de sua implantação. As decisões referentes ao local de uma construção, sua forma arquitetônica, os materiais empregados, a orientação solar escolhida, tamanho e orientação das aberturas além de vários outros fatores, podem ou não garantir um adequado conforto térmico aos seus usuários.

Segundo o IBGE (2010), Minas Gerais possui 853 municípios, uma área de 586.522,122 km<sup>2</sup> e uma população de 19.597.330. É um estado amplo que engloba uma grande diversidade climática, econômica, social e cultural que dificulta uma generalização de políticas públicas em seu território. Somente com relação à NBR 15220 (2003), que classifica os municípios brasileiros em zonas bioclimáticas para definição de parâmetros de conforto térmico nas edificações, Minas Gerais comporta 7 dos 8 zoneamentos existentes no Brasil.

Dentre as diversas práticas correntes realizadas pelo Governo do Estado de Minas Gerais, uma delas é a utilização de projetos padrões para a construção de escolas de ensino básico e fundamental em diversos municípios no estado. Um projeto de escola padrão da Secretaria de Educação do Estado de Minas Gerais (SEEMG) é uma solução de edificação que pode ser utilizada inúmeras vezes, em locais distintos e em várias situações de implantações. Este procedimento perdura há mais de duas décadas e tem como objetivo reduzir custos na contratação dos projetos executivos assim como o tempo de planejamento destes empreendimentos. Ter a disposição os projetos executivos das edificações assim como uma planilha orçamentária com a estimativa dos custos de sua construção é uma facilidade administrativa a SEEMG na definição de uma política educacional e na realização de suas licitações.

Uma edificação escolar que não proporciona o adequado conforto térmico aos seus alunos, professores e funcionários é uma edificação comprometida que pode gerar grandes transtornos em seu funcionamento. Também é importante observar que o conforto térmico possui uma influência direta com a eficiência energética, pois, é na ausência deste que irão surgir o uso de mecanismos artificiais de climatização que provavelmente resultarão em um maior consumo de energia para o edifício.

No ano de 2012, os principais padrões escolares da SEEMG foram revisados devido sua obsolescência em relação a vários parâmetros construtivos, funcionais, legislativos, técnicos além de seu desempenho térmico com relação à NBR 15220. Por conta disso, este trabalho busca avaliar um destes projetos de escola padrão recentemente revisados com relação ao seu conforto térmico em diferentes localidades do estado de Minas Gerais.

## 2. OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo deste trabalho é o projeto Padrão Escolar de três pavimentos (PE-3PAV) revisado em 2012 por uma empresa de arquitetura e engenharia contratada pelo Departamento Estadual de Obras Públicas do Estado de Minas Gerais (DEOP-MG). O projeto de revisão do PE-3PAV foi elaborado seguindo-se os mesmos preceitos iniciais que seu antecessor. O partido longitudinal, assim como disposição das salas de aulas, salas administrativas e bloco de circulação vertical e horizontal foram mantidos (**Figura 01** e **Figura 02**).



Figura 01 – Perspectiva frontal da edificação



Figura 02 – Vista posterior da edificação

Em seu primeiro pavimento são localizadas as salas administrativas, o ambiente de recreação coberto, cozinha e apoios. O segundo e terceiros pavimentos abrigam as atividades educacionais, como salas de aulas, laboratórios e biblioteca. Um volume integrado ao volume principal da edificação proporciona a devida acessibilidade entre os três pavimentos através de rampas e escadas. Também são encontradas neste volume as áreas técnicas e sanitários que, ao concentrar quase toda demanda hidráulica em apenas uma região da edificação, proporcionam uma solução racional e econômica para o projeto.

O projeto de revisão do PE-3PAV propôs uma alternativa diferenciada de controle da insolação que seu antecessor. Devida a grande flexibilidade de implantação da edificação, seja em função de sua

localização ou orientação, procurou-se detalhar bises horizontais adequados para cada orientação solar em sua fachada mais exposta através do método Frota. Desta forma, foram definidos quatro tipos de brises horizontais (norte, sul, leste e oeste) que permitem a implantação da edificação em terrenos de dimensões e características mais complexas sem grande prejuízo na insolação de sua fachada mais vulnerável. Os critérios de orientação do edifício assim como detalhamento destes brises estão representados na **Figura 03**.

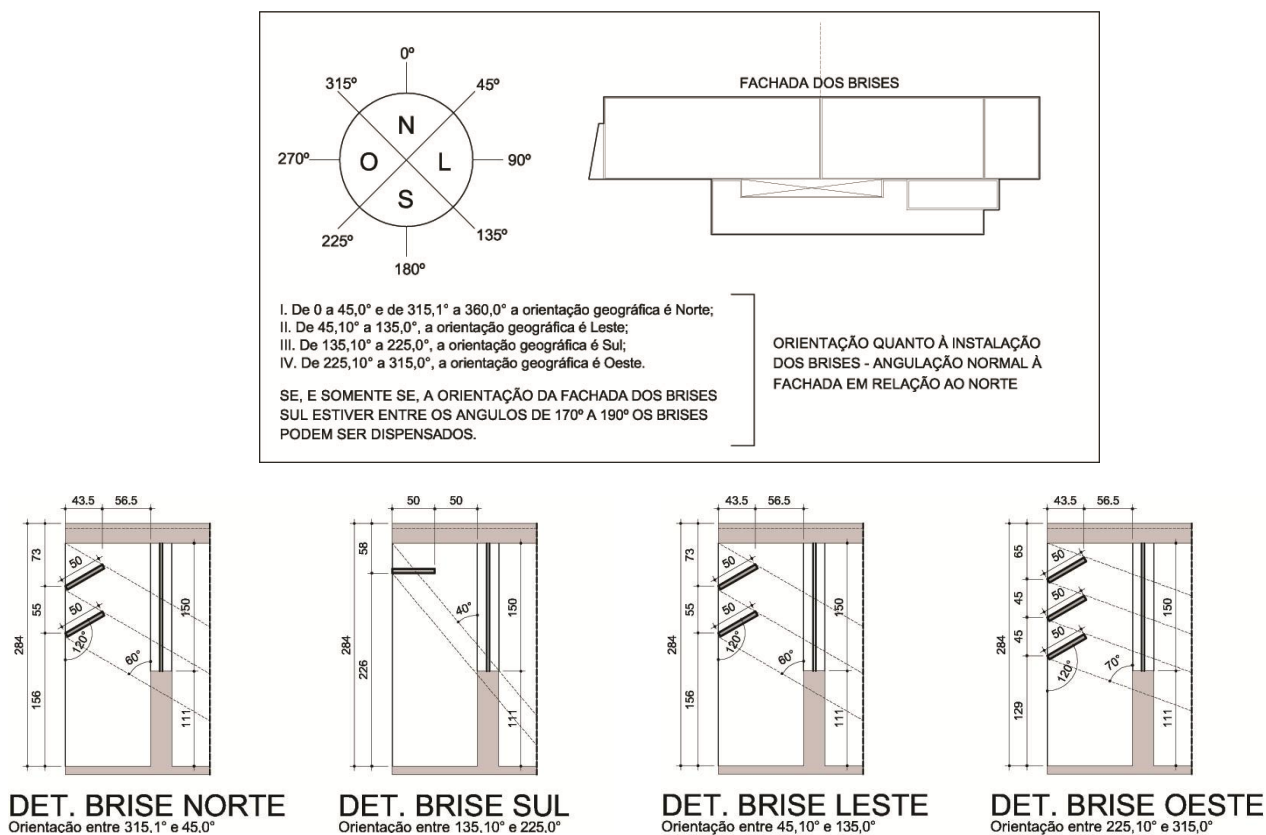


Figura 03 – Critérios de definição e detalhamento dos brises na fachada mais solicitada do PE-03PAV

### 3. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é o levantamento e análise das horas de conforto térmico desta edificação em diversas situações de localização geográfica. Pretende-se ainda, a partir da análise comparativa entre os vários resultados, avaliar as situações mais críticas de conforto na edificação e as possíveis intervenções para sua melhora sem que para tanto, haja intervenções projetuais significativas em sua concepção.

## 4. REVISÃO DA LITERATURA

### 4.1. Simulação de ambientes naturalmente ventilados pelo RTQ-C

O RTQ-C (Requisitos Técnicos de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos) é um processo de etiquetagem organizado pela Eletrobrás que é concedida inicialmente na fase de projetos e posteriormente com a construção do edifício. Os edifícios comerciais, de serviços e públicos são avaliados mediante o desempenho de três sistemas: envoltória, iluminação e condicionamento de ar. A etiquetagem pode ser obtida parcialmente (desde que sempre contemple o desempenho da envoltória) ou total, se utilizando para isso do método prescritivo ou a simulação computacional que será classificada no final por um sistema de letras (A,B,C,D e E).

O sistema prescritivo do RTQ-C foi desenvolvido baseando-se em milhares de simulações utilizando-se do EnergyPlus para cada zona bioclimática do Brasil. Através da regressão multilinear dos dados, foram obtidas equações simples que poderiam descrever aproximadamente a variedade de casos utilizando-se de um programa de simulação como o EnergyPlus (Melo *et al.*, 2011).

Uma das diretrizes que consta no RTQ-C é a de que, quando um edifício não é condicionado artificialmente, total ou parcialmente, para fins de obtenção da etiquetagem completa, é necessário avaliar o desempenho das áreas ventiladas naturalmente através do método da simulação computacional.

O Manual do RTQ-C especifica que, para edifícios naturalmente ventilados ou que possuam áreas de longa permanência não condicionadas, é obrigatório comprovar por simulação que o ambiente interno das áreas não condicionadas proporciona temperaturas dentro da zona de conforto durante um percentual das horas ocupadas. O **Quadro 01** indica a relação entre o percentual de horas ocupadas em conforto com o seu equivalente numérico assim como a sua classificação final.

Percentual de Horas Ocupadas em Conforto	EqNumV	Classificação Final
POC ≥ 80%	5	A
70% ≤ POC < 80%	4	B
60% ≤ POC < 70%	3	C
50% ≤ POC < 60%	2	D
POC < 50%	1	E

Quadro 01 – Equivalentes numéricos para ventilação natural

Os procedimentos para obtenção desta etiquetagem devem ser na sequência listada: a escolha de um dos softwares de simulação e arquivos climáticos que atendam a norma, execução do modelo real com as mesmas características que o edifício avaliado, simulação das horas de conforto térmico das áreas não condicionadas durante o período de ocupação anual considerando o uso da ventilação natural, obtenção do equivalente numérico de cada ambiente de acordo com o percentual de horas de conforto obtido e ponderação destes equivalentes numéricos com a área total da edificação para obtenção da classificação final. O índice de conforto adotado para a avaliação do desempenho da edificação é o índice da ASHRAE Standard 55/2004 ou a ISO 7730/2005.

## 4.2. ASHRAE 55/2004

Esta norma norte americana tem como objetivo estipular condições térmicas ideais para os usuários em um ambiente a partir de uma combinação de fatores ambientais e subjetivos que os influenciam. Dentre estes fatores, se classificam como ambientais a temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade relativa do ar e a velocidade do ar. Os fatores subjetivos são a atividade metabólica e vestimenta dos usuários. Com base nestes valores medidos, uma zona de conforto de temperaturas operacionais é estipulada. Existem dois métodos para determinar os limites desta zona: um gráfico e outro computacional. O método gráfico é aplicável em situações de atividade metabólica de seus ocupantes entre 1,0 e 1,3 *met* e vestimenta entre 0,5 e 1,0 *clo*. Para valores intermediários a 0,5 e 1,0 *clo*, as equações abaixo (**Figura 04**) determinam os valores máximos e mínimos da temperatura operativa para definição desta zona de conforto.

$$T_{min,Icl} = \frac{[(I_{cl} - 0,5 \text{ clo}) \cdot T_{min,1,0 \text{ clo}} + (1,0 \text{ clo} - I_{cl}) \cdot T_{min,0,5 \text{ clo}}]}{0,5 \text{ clo}}$$

$$T_{max,Icl} = \frac{[(I_{cl} - 0,5 \text{ clo}) \cdot T_{max,1,0 \text{ clo}} + (1,0 \text{ clo} - I_{cl}) \cdot T_{max,0,5 \text{ clo}}]}{0,5 \text{ clo}}$$

$T_{max,Icl}$ : limite superior de de temperatura operativa relacionada ao valor de *clo*.

$T_{min,Icl}$ : limite inferior de de temperatura operativa relacionada ao valor de *clo*.

$I_{cl}$ : isolamento térmico da roupa em questão.

Figura 04 – Equação para valores máximos e mínimos da temperatura operativa.

## 5. MÉTODO

A metodologia empregada na execução deste trabalho fundamentou-se nas normas para simulação de ambientes naturalmente ventilados pelo RTQ-C, pois, além de fornecer uma metodologia aceita e em prática tanto no campo científico como no comercial, estabelece parâmetros comparativos de fácil compreensão para seus resultados. Optou-se por realizar os procedimentos envolvendo a simulação computacional com o

software EnergyPlus por sua ampla aceitação, gratuidade, além de ser um software validado pela ASHRAE Standard 140. O critério estabelecido para a avaliação do conforto térmico foi o da norma ASHRAE 55/2004. Definiu-se que as simulações deveriam ocorrer pela combinação da variação da localização geográfica, pelas opções de controle de abertura das janelas para a ventilação natural e pela ausência ou presença de brises conforme definido pelas especificações de projeto. Neste trabalho, a orientação norte foi escolhida para investigação das simulações realizadas. Futuramente, esta pesquisa poderá abranger outras possibilidades de orientações solares para fins de um resultado mais amplo.

### 5.1. Definição das localizações geográficas

A escolha das localizações geográficas foi definida pela disponibilidade e confiabilidade dos arquivos climáticos (arquivos “epw”), pela variação de zonas bioclimáticas e pela distinção das características climáticas. Optou-se então pela escolha de quatro municípios: Ibitité, Araxá, Montes Claros e Governador Valadares (Tabela 01 e Figura 05).

Cidade	Zona Bioclimática	Latitude	Longitude
Ibitité	2	20°02' Sul	44°05' Oeste
Araxá	3	19°33' Sul	46°57' Oeste
Montes Claros	5	16°44' Sul	43°51' Oeste
Governador Valadares	6	18°51' Sul	41°56' Oeste

Tabela 01: Cidades escolhidas para as simulações

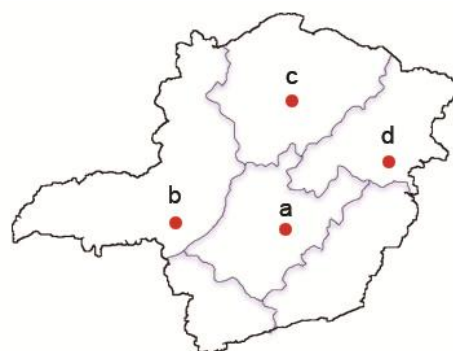


Figura 05: Localização dos municípios no estado de Minas Gerais (a: Ibitité, b: Araxá, c: Montes Claros, d: Governador Valadares)

Os arquivos climáticos para a realização da simulação foram obtidos pelo site Roriz Bioclimática (<http://www.roriz.eng.br>) que foram criados a partir de dados registrados nas estações do INMET entre os anos de 2000 e 2010 e que são disponibilizados gratuitamente.

### 5.2. Considerações gerais sobre o modelo

Algumas simplificações foram definidas no modelo em relação a sua configuração projetual inicial para uma melhor adequação ao escopo da pesquisa. Sendo assim, apesar do projeto do edifício possuir três pavimentos, foi desconsiderado o primeiro pavimento por este comportar áreas de recreio, cozinha e salas administrativas. O foco desta pesquisa concentrou-se somente na análise do segundo e terceiro pavimentos onde se localizam as salas de aula.

Da mesma forma optou-se por não modelar e simular o bloco em anexo de circulação vertical. Por ser uma porção da edificação que comporta rampas, escadas e alguns sanitários e, portanto, de ocupação transitória, não haveria necessidade de contemplá-las no cálculo das horas de conforto. Por ser um bloco que mais de 50% da área de sua fachada é permeável ao vento, verificou-se que a sua ação bloqueadora à ventilação natural seria desprezível e para sanar sua atuação contra o efeito da radiação solar, optou-se por desenvolver o mesmo somente como um elemento construtivo de sombreamento.

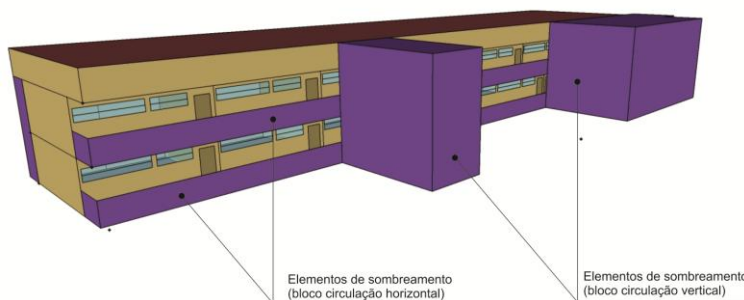


Figura 06 – Imagem frontal do modelo

A mesma estratégia foi utilizada para modelar as áreas de circulação horizontal contíguas às salas de aula. Por ser um ambiente aberto em toda sua extensão e por constituir em um espaço de ocupação



transitória, este espaço também foi considerado apenas como um elemento de sombreamento. A **Figura 06** demonstra, na cor roxa, os elementos de circulação horizontal e vertical que foram somente considerados como elementos de sombreamento assim como próprio modelo executado em apenas 02 pavimentos.

### 5.3. Zonas Térmicas

A edificação foi dividida em sete zonas térmicas que teve com objetivo principal avaliar o comportamento de suas extremidades, onde a exposição das fachadas é maior que na parte central do edifício assim como as diferenças de comportamento térmico entre os dois andares de salas de aulas. A **Figura 07** apresenta estas zonas térmicas.

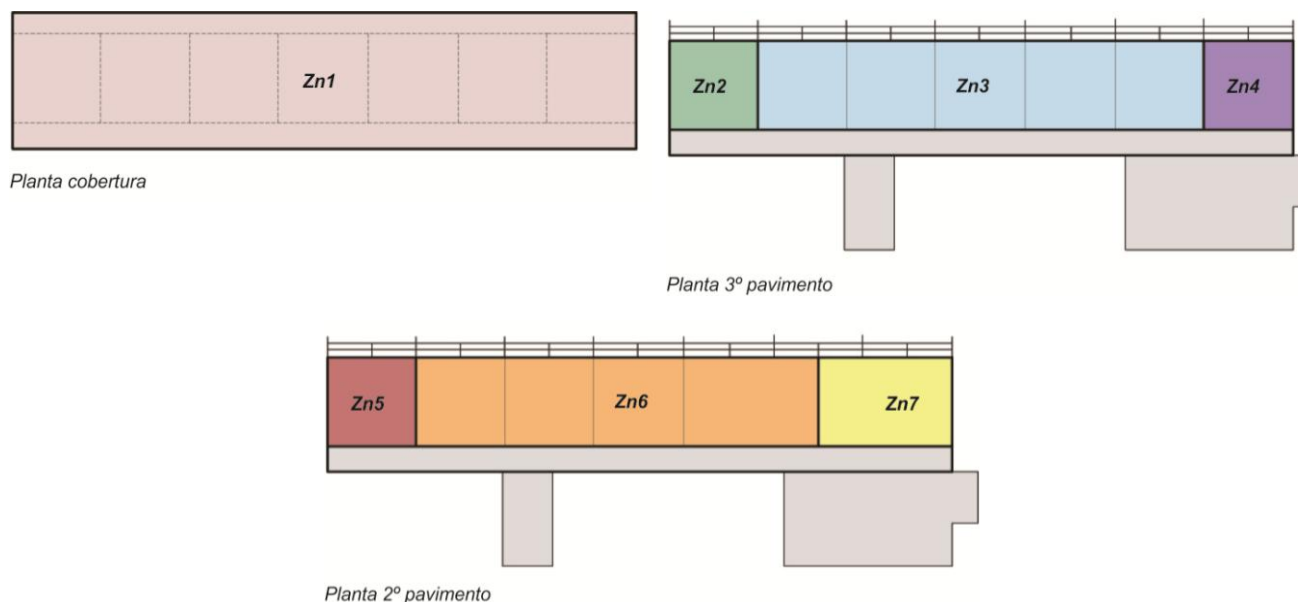


Figura 07 – Zonas térmicas do modelo

### 5.4. Materiais

Os materiais considerados para a simulação das sete zonas térmicas foram definidos a partir da especificação de materiais do projeto do PE-3PAV. A **Tabela 02** apresenta estes materiais, suas características físicas e térmicas assim como os locais onde foram empregados.

Superfícies	Material	Espessura (m)	Condutividade e (W/m-K)	Densidade (Kg/m³)	Calor específico (J/Kg-K)	Transmitância térmica (W/M² K)
Parede Externa	Argamassa	0.025	1.15	2000	754	2.52
	tijolo cerâmico	0.19	0.9	1600	920	
	gesso	0.01	0.35	750	840	
Parede Interna	gesso	0.01	0.35	750	840	-
	tijolo cerâmico	0.13	0.9	1600	920	
	gesso	0.01	0.35	750	840	
Piso	Concreto	0.12	1.75	2400	1005	-
Telha	Chapa galva.	0.05	55	7800	460	0.69
	EPS	0.05	0.05	15	1210	
Madeira	madeira	0.03	0.12	400	2300	4.00
Janelas	vidro simples	0.03	0.9	-	-	5.89

Tabela 02 - Tabela de materiais com propriedades térmicas

### 5.6. Ocupação e outras cargas internas

O modelo foi simulado sem considerar a presença de usuários, equipamentos e iluminação na influência da carga térmica da escola, ou seja, como um ambiente vazio sem nenhum tipo de equipamento ou iluminação. Tal procedimento é o solicitado pelas normas do RTQ-C para a simulação de ambientes naturalmente ventilados. Os períodos simulados foram baseados no período letivo de uma instituição de

ensino do governo, desconsiderando-se os meses de janeiro, julho e dezembro (normalmente por serem meses de férias escolares) e finais de semana. O horário considerado nos dias de simulação foi entre 7:00 horas da manhã até as 06:00 horas da tarde que compreende o horário de realização das aulas matinais e vespertinas.

### 5.7. Ventilação natural e janelas

Todas as aberturas do projeto foram modeladas e consideradas no cálculo do coeficiente de ventilação natural da simulação. Os cálculos dos coeficientes de pressão nas fachadas foram calculados automaticamente pelo EnergyPlus a partir do uso do módulo de ventilação natural Airflow Network. Para o controle das janelas, a investigação se realizou da seguinte forma: primeiro com a abertura destas vinculadas ao conforto adaptativo da ASHRAE55-2004, ou seja, todas as janelas estariam abertas se a temperatura operativa da zona fosse maior que a temperatura de conforto calculada através deste índice e, em segundo, com todas as janelas sempre abertas durante todo o período de simulação. Segundo estes parâmetros, as esquadrias foram consideradas com a abertura total de suas básculas e neste caso, com um coeficiente de descarga de 65%, ou senão fechadas, considerando-se somente o efeito da infiltração do ar através de suas frestas. Já as portas foram consideradas como elementos sempre fechados e, portanto, não tiveram influência no cálculo de ventilação natural a não ser pela infiltração de ar por suas frestas.

### 5.8. Brises

Tendo sido definida a orientação norte para as investigações deste trabalho, duas possibilidades de simulação foram contempladas: simulações com a utilização de brises projetados para o norte (conforme detalhamento do projeto, Figura 03) e sem a utilização a de brises.

### 5.9. Simulações

Foi realizada uma série de simulações em cada uma das quatro cidades escolhidas (Ibirité, Araxá, Montes Claros e Governador Valadares), todas na orientação das fachadas dos brises voltadas para norte e que seguiram a seguinte lógica. A primeira série de simulações, denominada série A, sem a inclusão de brises horizontais e com uma disponibilidade de ventilação das janelas sempre constante. A segunda série de simulações, denominada série B, sem a inclusão de brises, porém, com o controle das janelas seguindo os parâmetros de conforto da ASHRAE55-2004. A Terceira série, denominada série C, com a inclusão de brises horizontais adequados para orientação norte (conforme projeto) e adotando o controle de ventilação das janelas que melhor desempenho apresentou entre as duas primeiras séries (A e B).

Considerando todos os cenários estabelecidos, ao todo foram realizadas doze simulações no EnergyPlus e a **Tabela 03** codifica e aponta as características de cada uma delas.

Nº SIMULAÇÃO	CÓD.	CIDADE	ORIENTAÇÃO	BRISE	VENTILAÇÃO
1	IB-A-PN	Ibirité	NORTE	sem brise	constante
2	AX-A-PN	Araxá	NORTE	sem brise	constante
3	MC-A-PN	Montes Claros	NORTE	sem brise	constante
4	GV-A-PN	Gov. Valadares	NORTE	sem brise	constante
5	IB-B-PN	Ibirité	NORTE	sem brise	controle ASHRAE55
6	AX-B-PN	Araxá	NORTE	sem brise	controle ASHRAE55
7	MC-B-PN	Montes Claros	NORTE	sem brise	controle ASHRAE55
8	GV-B-PN	Gov. Valadares	NORTE	sem brise	controle ASHRAE55
9	IB-C-PN	Ibirité	NORTE	com brise	controle ASHRAE55
10	AX-C-PN	Araxá	NORTE	com brise	controle ASHRAE55
11	MC-C-PN	Montes Claros	NORTE	com brise	constante
12	GV-C-PN	Gov. Valadares	NORTE	com brise	constante

Tabela 03 - Tabela com número, codificação e características das simulações.

## 6. ANÁLISE DE RESULTADOS

Para cada simulação realizada dentro dos períodos de funcionamento do modelo, foram solicitadas saídas de resultados referentes às horas de conforto pela ASHRAE55-2004 em 80% dos limites em frequência horária e mensal (ASHRAE Adaptive Comfort Temperature at 80% Acceptability limits), a temperatura operativa da zona em frequência horária e mensal (Zone Operative Temperature) e a temperatura externa de bulbo seco em frequência mensal (Outdoor Dry Bulb).

### 6.1. Simulações série A

A primeira série de simulações foi realizada nos municípios selecionados, sem brises horizontais e com abertura constante de todas as janelas do modelo. A percentual da quantidade de horas de conforto obtido para todas as situações foi superior a 70% do total das horas consideradas, o que proporcionou para todas estas situações uma nota “B” em eficiência (**Tabela 04**).

CÓD.	Zona Município	% médio de horas de conforto	Eq. numérico	Nível
IB-A-PN	ZB1	74,41%	4,00	B
AX-A-PN	ZB3	76,90%	4,00	B
MC-A-PN	ZB5	70,48%	3,50	B
GV-A-PN	ZB6	71,58%	4,00	B

Tabela 04 - Resultados da série A de simulações.

### 6.2. Simulações série B

A segunda série de simulações realizadas teve o controle da abertura das janelas alterada em função da temperatura operativa do índice de conforto da ASHRAE55-2004, que somente permite a abertura destas quando a temperatura interna é superior à temperatura de conforto. O resultado demonstrou um resultado divergente para as quatro situações. Enquanto o índice de conforto da edificação no município de Ibirité teve uma melhora considerável nos resultados em relação à série A (de 74,41% para 93,38%), no município de Araxá o valor manteve-se praticamente sem alterações (76,84%) e nos municípios de Montes Claros e Governador Valadares, uma piora drástica, levando seus índices de conforto para uma classificação “D” conforme determina o RTQ-C (**Tabela 05**).

CÓD.	Zona Município	% médio de horas de conforto	Eq. numérico	Nível
IB-B-PN	ZB1	93,38%	5,00	A
AX-B-PN	ZB3	76,84%	4,00	B
MC-B-PN	ZB5	50,93%	1,68	D
GV-B-PN	ZB6	53,33%	1,68	D

Tabela 05 - Resultados da série B de simulações.

Entende-se que a variedade dos resultados obtidos nesta série se deve devido ao efeito da inércia térmica acumulada no edifício em seu período noturno com as janelas fechadas. No caso dos municípios de Ibirité e Araxá, estes se favorecem com o efeito da inércia devido ao seu clima mais frio. O fechamento das janelas no período noturno permite um acúmulo de calor que é benéfico aos seus usuários pela manhã. Já no caso de Montes Claros e Governador Valadares, este controle durante a noite aumenta em demasiado a temperatura interna do edifício pela manhã, prejudicando o conforto térmico dos seus usuários.

### 6.2. Simulações série C

Para a série “C” de simulações foi considerada a inclusão dos brises horizontais calculados para orientação norte em todos os municípios assim como o controle de ventilação mais favorável apresentados nas séries A e B (ventilação constante ou controle das aberturas em função do índice de conforto da



ASHRAE55-2004). Neste caso, o município de Ibirité teve um melhor desempenho com a ventilação controlada pela ASHRAE55-2004 enquanto os municípios de Montes Claros e Governador Valadares um evidente benefício com a ventilação constante em todo seu período de funcionamento. No município de Araxá a situação permaneceu praticamente estável nas duas séries e foi considerada para a série “C” a ventilação controlada pelo índice da ASHRAE55-2004. Em todos os municípios os resultados foram satisfatórios, tendo ficado a edificação nas cidades de Ibirité e Araxá com uma classificação “A” e nas cidades de Montes Claros e Governador Valadares com a classificação “B” (**Tabela 06**).

CÓD.	Zona Município	% médio de horas de conforto	Eq. numérico	Nível
IB-C-PN	ZB1	86,24%	5,00	A
AX-C-PN	ZB3	85,40%	5,00	A
MC-C-PN	ZB5	74,48%	4,00	B
GV-C-PN	ZB6	74,21%	4,00	B

Tabela 06 - Resultados da série B de simulações.

Observa-se que a inclusão de brises teve um efeito muito favorável para a edificação em Araxá, Montes Claros e Governador Valadares, mas não tão interessante para a cidade de Ibirité que apresentou um resultado melhor na série B, na qual houve um controle das aberturas das janelas em função do índice de conforto e a ausência de brises. Este fato demonstra que a inclusão de brises, mesmo que sejam devidamente calculados, nem sempre possuem um efeito benéfico na edificação que depende muito das condições bioclimáticas em que está inserido. O **Gráfico 01** apresenta uma relação das várias temperaturas envolvidas na série C de simulações para estes quatro municípios. São apresentadas as temperaturas externas média, máxima e mínima, temperatura operativa da edificação e a temperatura de conforto pelo índice ASHRAE55-2004.

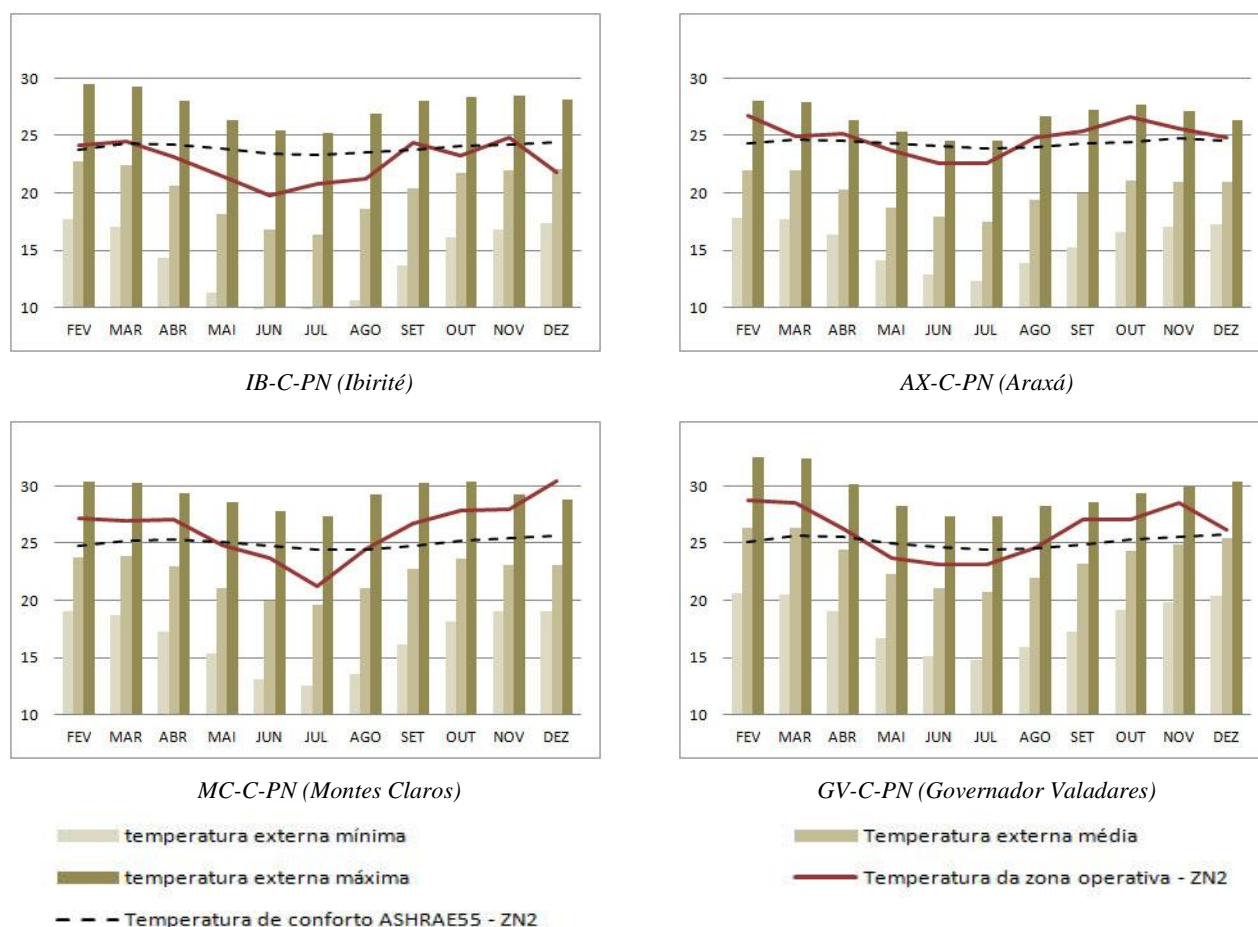


Gráfico 01 – Gráficos de temperaturas para as simulações da série C.

A análise destes gráficos torna evidente como as condições climáticas condicionam a melhor solução para cada edificação. No caso de Ibirité, a temperatura operativa do edifício fica durante grande parte do ano abaixo da temperatura de conforto, motivo pelo qual a edificação se comporta mais eficientemente com controle das aberturas e ausência dos brises que servem como um bloqueio para insolação na edificação, impedindo que a mesma absorva o calor necessário. No município de Araxá, a solução que obteve o melhor conforto térmico foi com a inclusão de brises horizontais. Constatamos que o controle de ventilação neste edifício proporcionou uma diferença mínima no conforto térmico, provavelmente devido ao equilíbrio da temperatura externa ao longo do ano, que favorece em momentos a ventilação constante e outrora, a ventilação controlada. A edificação nos municípios de Montes Claros e Governador Valadares se comportaram de forma análoga, favorecendo as situações com inclusão de brises horizontais e ventilação constante devido ao clima com temperatura mais elevada destas cidades no período simulado.

## 7. CONCLUSÕES

Apesar de todas as simulações terem, ao final do processo, obtido um resultado satisfatório para a implantação do PE-3PAV nos municípios averiguados, percebe-se que as estratégias adotadas para tal foram distintas. Verificamos por exemplo que, em alguns casos, a existência de brises horizontais é um elemento importante de controle térmico para as salas, aumentando o índice de conforto interno com a diminuição da insolação nas mesmas. Porém, em outros casos como no do município de Ibirité, estes chegam até a reduzir as horas de conforto térmico nos meses mais frios. O mesmo ocorre com as estratégias de ventilação: em certos municípios, existe grande necessidade de ventilação constante para a diminuição da carga térmica interna e em outros, o controle da ventilação é importante para o acúmulo de calor nos meses de inverno.

De uma forma geral, sobre o ponto de vista do conforto térmico, podemos chegar a diretrizes específicas para uma adequada implantação do PE-3PAV em cada um dos quatro municípios investigados. A variedade de diretrizes obtidas neste estudo para cada um dos casos evidencia a importância de um estudo cuidadoso entre o desempenho térmico de uma edificação padrão e o entorno que será construído ainda em sua fase projetual.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE. Standard 55: thermal environment conditions for human occupancy. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2004.
- ASSIS, Eleonora S., et al. — PROJETO DE DOCUMENTO: Manual para Construções Sustentáveis dos Edifícios Públicos do Estado de Minas Gerais - Convênio FUNDEP nº 14335 — Belo Horizonte: 2010 — 140 p.
- ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, ABNT, 2003.
- FERREIRA, Fernanda Cristina. — Procedimento de avaliação de conforto ambiental e eficiência energética aplicado a um caso típico da Rede Estadual de Escolas Públicas de Minas Gerais – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- INSTITUTO Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em:  
<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=mg>. Acesso em: 21 nov 2012.
- INSTITUTO Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Requisitos Técnicos de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. INMETRO – Portaria 372, setembro 2010.
- MELO, Ana.Paula, et al. - Assessing the accuracy of a simplified building energy simulation model using BESTEST: The case study of Brazilian regulation. Energy and Buildings, n.45, pag 219-228 – Florianópolis: novembro 2011
- MELO, Ana Paula, et al. — Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa ENERGYPLUS – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações — Florianópolis: 2008
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA — Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética e Etiquetagem de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos — Brasília: 2010
- PEREIRA, Iraci M.; LOURA, Rejane M. — Curso de introdução à modelagem termoenergética de edificações com os software Energyplus e Openstudio – UFMG — Belo Horizonte: maio 2012
- PEREIRA, Iraci M.; LOURA, Rejane M. — Curso Avançado de modelagem termoenergética de edificações com os software Energyplus e Openstudio – UFMG — Belo Horizonte: julho 2012
- PROCELINFO. Etiquetagem em Edificações. [200-]. Disponível em:  
<<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B89E211C6-61C2-499A-A791-DACD33A348F3%7D>>. Acesso em: 05 dez. 2012.